

Ministère de l'Agriculture, des Ressources hydrauliques et de la Pêche
Institution de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur Agricoles
Institut de l'Olivier





Utilisation des Fonctions de Répartition de la Pluie pour la Détermination des Besoins en Eau d'Irrigation de l'Olivier (Olea europaea L.)

Présentation des Fiches d'Aide à la Décision par Région de Culture



Masmoudi Charfi Chiraz
Maître de Conférences
Institut de l'Olivier - Station de Tunis

Habaieb Hamadi
Professeur
Institut National Agronomique de Tunisie
DG Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts

Edition Institut de l'Olivier - 2017

Utilisation des fonctions de répartition de la pluie pour la détermination des besoins en eau d'irrigation de l'olivier (Olea europaea L.)

Présentation des Fiches d'aide à la décision par région de culture de l'olivier

Masmoudi-Charfi Chiraz* et Habaieb Hamadi**

Résumé

En Tunisie (36.5ºN, 10.2ºE, Alt. 10 m), la production d'olives est étroitement liée à la quantité de pluie reçue et à sa répartition spatio-temporelle ; celle-ci, de part son irrégularité, génère un déficit climatique plus ou moins sévère selon la région de culture. Pour limiter les dégâts que peut occasionner le manque d'eau et améliorer le rendement, l'oléiculteur pratique l'irrigation pendant la période de développement des olives. Mais les apports d'eau ne couvrent pas toujours les besoins de la culture, ni en quantité ni dans le temps. Dans cette étude on se propose de calculer les fréquences de satisfaction des besoins en eau de l'oliveraie par la pluie en tenant compte de la région de culture de la période de développement des oliviers. Pour ce faire, les fonctions de répartition de la pluie ont été établies pour huit régions de la Tunisie: Tunis, Bizerte, Béja, Nabeul, Sidi Bouzid, Gabes et Sousse). Dans une seconde étape, les besoins en eau d'irrigation ont été déterminés en fonction des sites de culture, des périodes de développement de l'olivier et de son âge. L'évapotranspiration de référence (ET_0) a été déterminée par différentes méthodes de calcul, dont les résultats ont été comparés à ceux obtenus par la méthode de Penman Monteith (ET_0-PM) (Allen et al., 1998). Cette comparaison a permis d'évaluer leur performance, leur adaptabilité à une aire de culture donnée et leur utilité lorsque les données climatiques sont manquantes, ne permettant pas l'estimation de ET_0-PM.

Les résultats ont montré que toutes les formules de calcul de l'ET_0 corrèlent positivement et significativement avec celle de PM avec une prédilection de la méthode d'Ivanov pour Tunis et Monastir, celle de Steward *and* Swanson pour Béjà, Christiansen Hargreaves pour Bizerte et Gabès, Blaney Criddle pour Nabeul et Hargreaves Samani pour Sidi Bouzid. Cependant, la formule adaptée à l'échelle annuelle n'est pas nécessairement adaptée aux différentes périodes de développement et inversement. Pour la région de Tunis par exemple, la méthode d'Ivanov ne convient à aucune période phénologique, alors que pour Monastir la méthode de BC est adaptée à l'échelle annuelle et pour la majorité des périodes précitées, constituant une alternative permettant l'estimation de l'ET_0 en utilisant les données disponibles. La méthode d'Eagleman est la moins performante pour tous les sites étudiés.

Pour ce qui est de l'utilisation des fonctions de répartition de la pluie pour la gestion de l'irrigation, il apparait que pour les jeunes plantations, l'irrigation est nécessaire à partir de Juillet pour les régions de Tunis, Nabeul et Monastir, d'Avril pour Gabes et Sidi Bouzid et d'Aout-Septembre pour Bizerte et Béjà. Pour les plantations adultes, l'irrigation est nécessaire à partir de Février pour Sidi Bouzid, Mars pour Monastir, Avril pour les régions de Tunis et Nabeul, Juillet pour Bizerte et Béjà et toute l'année pour Gabes.

En conclusion, ces résultats constituent un outil d'aide à la décision quant à l'application de l'irrigation dans les oliveraies. Les quantités d'eau nécessaires sont présentées à titre indicatif.

Mots-clés : Méthodes de calcul de l'ET_0, Penman Monteith-FAO, déficit climatique, irrigation, fréquence de la pluie.

.

Use of the rain distribution functions to determine the irrigation water requirements of olive trees (Olea europaea L.)

Presentation of the decision support worksheets following the olive cultivation area

Masmoudi-Charfi Chiraz* and Habaieb Hamadi**

Abstract

In Tunisia (36.5ºN, 10.2ºE, Alt. 10 m), olive production is highly dependent on the rainfall amounts and their spatio-temporal distribution. Its irregularity provides more or less severe climatic deficit depending on the cultivation area. To limit the damages that may occur due to water shortage and to improve yields, orchardists practice irrigation during the period of fruit development. But, the water supplies are sometimes inappropriate and didn't ensure a correct recovery of the crop water needs, neither in quantity nor in time. In this study we intend to determine the rainfall frequencies at which the recovery by rainfall occurs, taking into account the site of olive production and the olive tree growing periods. For this purpose, the rainfall distribution functions are established for eight cities of Tunisia: Tunis, Bizerte, Béja, Nabeul, Sidi Bouzid, Gabes and Sousse. Then, we determined the irrigation water needs of the olive orchard following the cultivation area, the growing periods and the tree age. The reference evapotranspiration (ET_0) was computed by using different empirical methods for ETo-estimation. Their performance was evaluated for all considered cities by comparing their estimates (ET_0) to those obtained by the Penman-Monteith equation (ETo-PM) (Allen et al., 1998). This comparison allowed an evaluation of their accuracy, their adaptability to a given area and their usefulness when data are missing to compute ET_0-PM.

Results presented herein show that the ETo estimates strongly correlate with ET_0-PM for all sites and formulas, with a predilection of the Ivanov method for Tunis and Monastir, that of Steward *and* Swanson for Béjà, Christiansen Hargreaves for Bizerte and Gabès, Blaney Criddle for Nabeul and Hargreaves Samani for Sidi Bouzid. It appears also that at a given site, the most appropriate method for ET_0 estimation at annual scale may be different from that giving the best value of ET_0 when considering the growing stages of the olive tree and vice versa. The formula of Ivanov, although it was appropriate when estimating the annual ET_0 value for Tunis, it wasn't adequate at seasonal scale, while the method of BC is suitable for Monastir at annual scale and for most stages, constituting an alternative to estimate ETo with the available data. A poorer agreement was found when using the Eagleman formula for all studied sites.

About the use of the rainfall distribution functions in the management of irrigation, it appears that for young trees, irrigation is necessary beginning from July for the regions of Tunis, Nabeul and Monastir, from April for Gabes and Sidi Bouzid and beginning from August-September for Bizerte and Béjà. For the older plantations, irrigation is necessary beginning from February for Sidi Bouzid, March for Monastir, April for the regions of Tunis and Nabeul, July for Bizerte and Béjà, and along the year for Gabes.

To conclude, results obtained for the different regions constitute a means to decide when irrigating olive plantations. The amounts of irrigation water are presented in this paper indicatively.

Key words: Methods of ET_0 computation, FAO-Penman Monteith, climatic deficit, irrigation, rainfall frequency.

**Maître de Conférences. Institut de l'Olivier – Station de Tunis. Auteur de correspondance : e-mail:* masmoudi.chiraz@yahoo.fr. *Tél/Fax: 21671235820 - 21674241033*

***Professeur. Institut National Agronomique de Tunisie / Directeur Général INRGREF*

1. Introduction

Face aux challenges actuels, que sont l'économie de l'eau et la lutte contre le changement climatique et ses répercussions notamment sur le cycle de l'eau, la gestion optimale des ressources en eau est considérée de nos jours comme un défi important. Le fait de mieux connaître et d'appréhender les quantités d'eau évapotranspirées par divers cultures permet d'optimiser les apports en eau et ainsi d'économiser cette ressource.

L'oléiculture (*Olea europaea* L.) est une composante principale de l'agriculture tunisienne, occupant près du tiers des terres labourables. La plupart des oliveraies sont conduites sous régime pluvial avec un apport pluviométrique annuel moyen de 595 mm au nord du pays, 290 mm au centre et 155 mm au sud **(INM, 2013-2016)**. Ces pluies sont caractérisées par leur irrégularité dans le temps et dans l'espace (plus de 75-80% tombent en dehors des périodes de croissance des fruits et des pousses) et un rapport entre les précipitations maximales et minimales variant de 4,4 au nord du pays à 15,8 au sud **(Laroussi et Habaieb, 1993 ; Hamza, 2009 ; INM, 2013 et 2016).** Ces conditions climatiques et hydriques, ajoutées à une faible fertilité des sols, sont à l'origine d'une production d'olives variable, allant de 60 000 à 300 000 tonnes/an et des taux d'huile oscillant entre moins de 16% à plus de 26% pour certains cultivars comme Oueslati de Kairouan **(Bayoudh, 2016).** Cette situation est peu confortable pour la Tunisie qui est tenue de produire une quantité d'huile suffisamment importante pour couvrir les besoins annuels d'exportation, estimés à plus de 50000 tonnes vers la *Communauté Européenne* : un partenaire stratégique, mais également pour l'agriculteur, pour lequel, l'olivier constitue bien souvent une source de revenu importante.

Pour contrecarrer cette difficulté, les agriculteurs recourent à l'irrigation. Actuellement près de 83000 ha d'oliviers bénéficient d'apports hydriques plus ou moins réguliers pendant la saison estivale mais dans une grande majorité des cas, l'eau est utilisée de manière peu rationnelle, notamment en quantité. De même, plusieurs agriculteurs placent l'olivier en second rang, après les cultures maraichères et ne bénéficie de l'eau d'irrigation qu'à travers leur irrigation dans un système de culture intermédiaire, très répandu dans le centre du pays. De ce fait, son efficience d'utilisation de l'eau (EUE) demeure faible, ne dépassant pas 0,3-0,6 kg d'olives/m^3 d'eau apporté en fonction du type de conduite et du mode d'irrigation **(Masmoudi-Charfi et al., 2012).** A ce titre on note, que seulement 20% des plantations sont équipées du système d'irrigation localisée, économisant près de 30% de l'eau par rapport à l'irrigation de surface. Ces valeurs peuvent être significativement améliorées par une meilleure estimation des besoins en eau de la culture et une application ciblée des apports d'eau dans le temps et dans l'espace **(Jensen et al., 1990 ; Cohen, 1991 ; Inglease et al., 1996 ; Michelakis, 2000 ; Palomo et al., 2002 ; Fernandez et al., 2003 ; Masmoudi-Charfi et al., 2004 ; Fernandez, 2006 ; Moriana et al., 2006 ; Orgaz et al., 2006 ; Dabbou et al., 2010 ; Paredes et Rodrigues, 2010).** Pour des apports couvrant de 20

à 100% des besoins, des valeurs de l'EUE de l'ordre de 2,5 kg/m^3 ont été obtenues au domaine expérimental de l'IO, Taoues - Sfax pour les variétés Chétoui, Picholine, Manzanille et Coratina **(Masmoudi-Charfi et al., 2010)** et près de 5 kg/m^3 pour la variété Chemlali de Sfax. D'autres travaux, menés en Tunisie, ont montré qu'un apport d'eau annuel supérieur à 300 mm reste sans effet supplémentaire sur la production, alors qu'une quantité moindre, de l'ordre de 50-60%ET_c peut améliorer significativement les paramètres de fructification et de production si elle est convenablement répartie **(Masmoudi-Charfi et al, 2012 ; Mickelakis, 2000)**. Ce résultat est appuyé par des interrelations significatives entre la production et la quantité d'eau délivrée au cours de la période de croissance des fruits **(Gucci et al., 2007 ; Melgar et al., 2008 ; Iniesta et al., 2009).**

Les besoins en eau de la culture ou évapotranspiration de la culture (ET_c) sont exprimés en fonction de la demande climatique ETo, du coefficient cultural K_c et du taux de couverture du sol, représenté par le coefficient K_r / $ET_c = ET_0 \times K_c \times K_r$ **(COI, 1997 ; Rana et Katerji, 2000 ; Villalobos et al., 2000 ; Allen et al., 1998 ; Er-raki et al., 2004 ; Testi et al., 2004 ; Traore, 2007 ; Tabari, 2010 ; Mjejra, 2015 ; Samaras et al., 2014 ; Soleilhavoup, 2016).** Ce paramètre inclut la quantité d'eau évaporée par le sol (E) et celle transpirée par les arbres (T) qui avoisine 50%ET_c chez l'olivier en production **(Chehab, 2007 ; Chehab et al., 2009 ; Masmoudi-Charfi et al., 2013).** Les valeurs de l'ET_c-olivier ont été estimées et publiées par **Masmoudi-Charfi (2006)** en considérant différentes régions de culture et l'âge de la plantation. La méthode de la FAO, Penman–Monteith **(Allen et al., 1998)** a été utilisée pour déterminer ET_0.

La demande climatique peut être déterminée en utilisant diverses formules de calcul **(Allen et al., 1998 ; Habaieb et Masmoudi-Charfi, 2003 ; Marti et Zarzo, 2012 ; Annandale et al., 2013 ; Samaras et al., 2014)** développées et améliorées entre 1942 et 2005, en commençant par la formule de Blaney et Criddle BC **(David, 2011)** et en finissant par celle de Penman Monteith **(Sammis et al., 2011).** Ces formules utilisent la température **(Blaney-Criddle, original et modifiée, 1950 – cités par Sammis et al., 2011),** l'humidité relative **(Ivanov 1954; Eagleman 1967– cités par Sammis et al., 2011)** et/ou la radiation solaire qui contrôle le processus de transpiration **(Turc 1961; Christiansen-Hargreaves 1969- cités par Sammis et al., 2011-; Hargreaves et Samani, 1982 ; Hargreaves-Samani 1985 ; Hargreaves et Allen, 2003 ; Razieia et Pereira, 2013).** Les formules de Penman **(Penman Original, 1963)** et Penman–Monteith; **(Allen et al., 1998 ; Denden et Lemeur, 1999 ; Rana et Katerji, 2000 ; Pereira et al., 2005 ; Nandagiri et Kovoor, 2005 ; Djikou, 2006 ; Gong et al., 2006 ; Cai et al., 2007 ; Gavillan et al., 2007 ; Lopez-Moreno et al., 2009 ; Kra, 2010 ; Sammis et al., 2011)** sont basées sur une théorie combinée nécessitant plusieurs calculs intermédiaires. Une synthèse est présentée dans le **Tableau 1**.

Tableau 1. Méthodes de calcul développées entre 1942 et 2005 pour l'estimation de la demande climatique (ETP ou ET_0). Adapté par **Sammis et al., (2011).**

Date	Méthodes utilisées pour l'estimation de la demande climatique
1942	Blaney-Criddle (BC): utilisée pour déterminer la consommation en eau de l'alfa, du cotonnier et des pommes dans la vallée de la rivière NM Pecos (Blaney et al., 1942a).
1942-1962	Blaney-Criddle (BC): Mesure de la consommation de l'eau pour d'autres cultures dans les états ouest des USA (Blaney and Criddle 1962).
1947	Hargreaves: utilise un coefficient de culture.
1948	Penman: Basée sur la mesure de la radiation et la balance aérodynamique.
1950	Simplification de la formule de BC en supprimant le paramètre humidité indisponible dans la majorité des stations climatiques.
1958	Utilisation de la formule de BC pour le droit d'utilisation de l'eau (water right adjudication) (USDIBIA, 1958).
1963	Jensen-Hays utilise la radiation solaire pour déterminer l'ET de référence.
1970	USDA SCS modifiée reflétant le développement des cultures et incluant des paramètres comme la température (USDA SCS1970).
1975	Penman modifiée publiée par la FAO (Doorenbos and Pruitt 1975).
1975	FAO Blaney-Criddle rendue compatible avec les coefficients culturaux développés avec la méthode de Penman modifiée.
1998	Modification de la formule de Penman en Penman-Monteith (P-M).
2005	La formule de PM est devenue la formule standardisée, de référence de l'ASCE.

La formule de PM est constituée de 2 composantes: radiative qui contrôle le processus d'évaporation **(Bonachela et al., 1999 ; Ruelle et al., 2004)** et une composante liée à la vitesse du vent et à la pression de vapeur saturante qui contrôle le transport de la vapeur d'eau de la plante et de la surface du sol vers l'atmosphère et la capacité de l'air pour absorber cette vapeur **(Pereira et al., 2005)**. L'estimation de ces deux grandeurs nécessite des calculs intermédiaires et des sub-modèles localement calibrés ou la paramétrisation des conductances stomatiques et celle de l'air, ce qui augmente les risques d'erreurs et de dérive **(Droogers et Allen, 2002 ; Allen et al., 2011 ; Allen, 2002).** Les experts de la *Consultation Internationale* menée dans les années 90 ont défini le coefficient cultural $K_c = ET_{culture} / ET_{gazon}$ pour établir le lien entre la demande climatique et la consommation de la plante, déterminée sous des conditions optimales à l'échelle mensuelle ou saisonnière. Cette grandeur K_c dépend du développement de la culture, de la saison, de la quantité d'eau disponible au niveau des racines et du taux de transpiration effectif au niveau de la surface foliaire qui est utilisée pour déterminer la transpiration de l'arbre. Cette alternative rend possible l'utilisation de la formule de PM sous divers conditions climatiques. Le problème majeur dans ce cas est le choix de la valeur du coefficient cultural

K_c. Les valeurs utilisées dans nos travaux sont celles présentées dans le Bulletin 56 de la FAO **(Allen et al., 1998)** avec des valeurs de 0,3-0,4 pour les jeunes oliviers et 0,5- 0,7 pour les oliveraies adultes. Des valeurs spécifiques ont été trouvées en Tunisie pour des plantations adultes par **Braham et Boussadia (2013)** de 0,47 pour la période de floraison et de mise à fruits.

La méthode climatique de la FAO est adoptée comme méthode de référence, par rapport à laquelle sont comparées les autres méthodes d'estimation de l'ET_0 **(Djikou, 2006 ; Traore, 2007 ; Mjejra, 2015 ; Soleihavoup, 2016).** L'évaluation des performances des différentes méthodes de calcul de ETo par rapport à celle de PM a été étudiée par **Jensen et al., (1990 et 1997), Temesgen et al., (2005) et Alkaeed et al., (2006) et Trajkovic (2007)** utilisant des données climatiques de stations voisines et de nombreux indicateurs statistiques, proposant, par ailleurs, un calcul empirique de R_n, PVS et U_2 lorsque ces données sont manquantes. De nombreux travaux ont traité cet aspect (**Villagra et al., 1995 ; Popova et al., 2006 ; Jabloun et Sahli, 2008 ; Lopez-Moreno et al., 2009 ; Gocic et Trajkovic, 2010 ; Martinez et Thepadia, 2010 ; Todorovic et al., 2013).** Cependant, même si ces calculs permettent de résoudre le problème des données manquantes, avec certaines incertitudes, le manque de données climatiques limite le nombre de formules à utiliser.

Ce travail complète des études antérieures **(Habaieb et Masmoudi-Charfi, 2003 ; Masmoudi-Charfi et al., 2004 ; Masmoudi-Charfi, 2006 ; Masmoudi-Charfi et al., 2006 ; 2012)** dans lesquelles les besoins en eau de la culture de l'olivier ont été déterminés en fonction de l'âge de la plantation, de la couverture du sol et de la région de culture. Dans cette étude, une composante climatique essentielle a été introduite : la pluviométrie. Les séries enregistrées sur 99 ans pour différentes régions de la Tunisie ont été utilisées pour élaborer les fonctions de répartition de la pluie à l'échelle de l'année et des périodes de développement de la culture et sur lesquelles nous nous sommes basés pour déterminer les besoins en eau d'irrigation de l'olivier pour 8 grandes régions de la Tunisie. L'étude s'est intéressée également au calcul de l'évapotranspiration de référence ET_o qui a été déterminée en utilisant différentes formules empiriques. Les valeurs de l'ET_o qui en sont issues ont été comparées à celles obtenus par la méthode de Penman-Monteith (PM). Ceci a permis de dégager, pour un site donné, la formule la plus performante qui utilise seulement quelques données climatiques facilement enregistrables comme la température de l'air. Les objectifs majeurs sont : (1) Déterminer la quantité d'eau d'irrigation nécessaire à l'oliveraie en rapport avec l'âge, la pluviométrie reçue au cours des différentes périodes de développement de l'olivier et la région de culture et (2) Evaluer le potentiel d'utilisation des méthodes de calcul de l'ET_0 par rapport à celle de PM en vue de mieux adapter le choix de la formule lorsque certaines données climatiques sont *manquantes* comme le rayonnement, qui fait souvent défaut, ne permettant pas l'application de la formule universelle de la FAO.

2. Matériels et méthodes

2.1. Choix des sites

L'olivier est présent partout en Tunisie. On compte actuellement plus de 80 000 pieds cultivés sur 1,7 million d'hectares **(Bayoudh, 2016).** Environ 60% de l'effectif total est localisé au centre du pays et s'étend sur 68% de la superficie cultivée en olivier sous différents environnements et modes de culture avec des densités de plantation variant de 17 à 1600 pieds/ha **(Masmoudi-Charfi et al., 2012 ; Larbi et al., 2012).** L'olivier est cultivé sur des sols allant des plus légers (Sud) aux plus lourds (Nord). La culture est soumise pendant la période estivale à un déficit climatique important atteignant plus de la moitié de la demande climatique et des températures absolues qui peuvent dépasser 40°C dans les régions du Centre et du Sud. Les possibilités d'irrigation existent mais l'apport de l'eau ne se fait pas toujours de la manière la plus efficiente. Différents qualités d'eau d'irrigation sont utilisées avec des taux de salinité allant de 2 à plus de 4 g/l.

Huit régions de la Tunisie sont choisies pour cette étude (Lat. 36°-38°, Long. 8°-11°, Alt. 2 m-314 m), en l'occurrence Tunis, Bizerte, Nabeul et Béja pour le Nord et Sousse et Sidi Bouzid pour le Centre et Gabes pour le Sud. La région de Sfax a été écartée à cause de la-non disponibilité de séries complètes et continues de données climatiques, un problème souvent rencontré pour faire ce genre de calcul.

Sur le plan agricole, la région de Tunis (Lat.: 36°83'N, Long: 10°23'E, Alt: 4m) est représentative de l'arboriculture fruitière intensive et irriguée, qui représente 40% de la surface agricole contre 31% pour le maraichage et 14% pour les céréales. L'olivier y occupe 72% des surfaces réservées à l'arboriculture contre 49,5% à Bizerte et 70,9% à Béja. Il est destiné aussi bien à la production de l'olive à huile (variété Chétoui) que de table (variétés Meski, Picholine et Manzanille). La surface occupée par l'olivier représente 10,4% de la surface agricole.

La région de Bizerte (Lat.: 37°25'N Long: 09°8'E, Alt: 3m), zone côtière du nord, produit principalement des céréales (28%) et des fourrages (48%). La surface occupée par l'olivier est de 10,5%

La région de Béja (Lat.: 36°48'N, Long: 8°8'E, Alt: 144m) zone continentale de l'ouest de la Tunisie, fournit plus de la moitié du besoin national en blé (37% de la surface agricole) cultivant essentiellement le blé dur qui couvre 76,2 % de la surface réservée aux céréales. La surface occupée par l'olivier est de 19 %.

La région de Nabeul (Lat.:36°85'N, Long: 11°08'E, Alt: 30m) associe l'agrumiculture (32%) et le maraichage (53% de la surface agricole) avec comme principales cultures la tomate et le piment.

La région de Gabes (Lat.:33°88'N, Long: 10°10'E, Alt: 5m) est arboricole (47% de la surface agricole), produisant les olives et les grenades. Le maraichage y occupe une place importante (29% de la surface agricole). L'olivier occupe 3% de la surface agricole.

La plaine de Sidi Bouzid (Lat.: 34°41'N, Long: 8°81'E, Alt: 314m) est consacrée à la culture des céréales (20%), des arbres fruitiers (48%) et au maraîchage. C'est le premier producteur de légumes du pays. La surface occupée

par l'olivier est de 16%, dont une partie est conduite en irrigué et en hyper intensif.

La région de Sousse (Lat.:36°85'N, Long: 11°08'E, Alt: 30m) est une zone côtière de maraichage (83%). La surface occupée par l'olivier est de 9%.

2.2. Etapes du travail

1-Collecte des données climatiques par région.
2-Estimation de l'évapotranspiration de référence ET_0 par les différentes méthodes de calcul.
3-Comparaison des valeurs de l'ET_0 en se référant à la méthode de Penman-Monteith (ET_o-PM).
4-Etablissement des courbes de corrélation, calcul des paramètres statistiques.
5-Détermination des valeurs de l'ET_c en utilisant l'ET_0-PM pour chaque période phénologique.
6-Estimation du déficit climatique en utilisant les moyennes pluviométriques calculées sur 99 ans.
7-Elaboration des fonctions de répartition des pluies et détermination de la part de satisfaction des besoins en eau pour chaque période et site d'étude.
L'analyse fréquentielle de la pluie, effectuée sur ces séries, permettra de situer les besoins en eau de la culture par rapport à l'apport pluviométrique. L'ordonnée représente la fréquence cumulée des pluies en interannuelle. Elle est calculée à partir de moyennes mensuelles.
Les résultats obtenus permettront la prise de la décision adéquate quant à la pratique de l'irrigation. Les quantités d'eau à appliquer sont présentées à titre indicatif.

2.3. Caractérisation climatique des sites étudiés

Les paramètres climatiques ont été obtenus soit à partir du site Web de l'INM soit à partir des fiches météorologiques disponibles sur les lieux. Les données utilisées sont relatives aux valeurs maximales et minimales de la température et de l'humidité de l'air, le rayonnement atmosphérique (R_a, Mj/m^2/jour), la vitesse du vent mesurée à 2m (U_2) converties en m/s ou en km/h selon la formule adoptée, la durée d'insolation actuelle mensuelle (n, heures), la durée maximale d'insolation pour une région donnée (N, heures/jour). Les valeurs moyennes sont présentées dans le **Tableau 2** en rapport avec la région d'étude.

Les données pluviométriques utilisées sont des moyennes mensuelles enregistrées entre 1901 et 2000 (99 ans). Les valeurs mensuelles moyennes sont présentées dans la **figure 1.** Les valeurs oscillent entre 200 mm à Gabès et 600 mm à Béja. Les sites du Centre (Sousse-Sidi Bouzid) reçoivent une pluie annuelle comprise entre 200 mm et 300 mm. L'écart minimal entre la moyenne et son écart-type est observé en Juillet pour tous les sites.

Tableau 2. Données climatiques moyennes enregistrées au niveau des sites étudiés **(INM, 2013-2016)**

	Tunis	Nabeul	Sidi Bouzid	Béja	Gabes	Bizerte	Sousse
T_{min} (°C)	13.4	15.1	12.5	10.8	162	13.1	15.2
T_{max}°C	23.5	22.7	25.3	239	243	22.6	24.0
U_2 (m/s)	4.2	3.0	2.8	42	34	3.9	4.5
e_s (mb)	2.3	2.4	2.5	23	26	2.2	2.5
R_a (Mj/m^2/jour)	29.3	29.3	30.3	296	303	29.2	29.6
N (h /jour)	5.0	12.0	12.0	120	12.0	12.0	12.0
HR (%)	68.9	72.4	59.0	650	63.0	70.8	66.0
n (h/mois)	238	214	229	205	265	242	224
Pluie (P, mm/year)	450	468	252	629	190	635	328

Les régions de Tunis et Nabeul sont les plus arrosées avec des quantités annuelles comprises entre 400 et 500 mm. Le mois de Juillet étant le moins pluvieux et Janvier est le plus arrosé. Les régions de Bizerte et de Béja sont plus arrosées que Tunis. Le maximum de pluie est enregistré en Décembre pour Bizerte et en Janvier pour Béja. Le mois le plus sec est Juillet pour les trois régions.

Les quantités de pluie reçues à Tunis-Carthage sont comprises entre 221 mm (1948) et 808 mm (1959).

La pluie moyenne reçue à Sidi Bouzid est de 252 mm / an avec un écart-type de 121 mm
Les pluies annuelles ont varié entre 905 mm (1970) et 61 mm (1947 mm).
La pluie moyenne reçue à Bizerte est de 635 mm/an. Les pluies annuelles ont varié entre 1119 mm (1953) et 270 mm (1901).

La moyenne sur 100 ans est de 450 mm/an avec un écart-type de 122.
L'écart-type est égal à la moyenne en Septembre et en Mai et dépasse la moyenne en période estivale.

Les pluies annuelles reçues à Nabeul ont varié entre 1110 mm (1996) et 217 mm (1925).
La pluie moyenne est de 468 mm avec un écart-type de 160 mm.
L'écart-type enregistré au cours des mois d'été est > la pluie moyenne annuelle.
42 années sur 100, la pluie annuelle dépasse la moyenne.
L'écart-type a souvent dépassé la valeur de la pluie mensuelle moyenne sauf pour le mois de Mars.
Pour 24 années sur 70, la pluie annuelle dépasse la moyenne.
L'écart-type est égal à la moyenne au cours des mois d'été.
Pour 49 années sur 100, la pluie annuelle dépasse la moyenne.

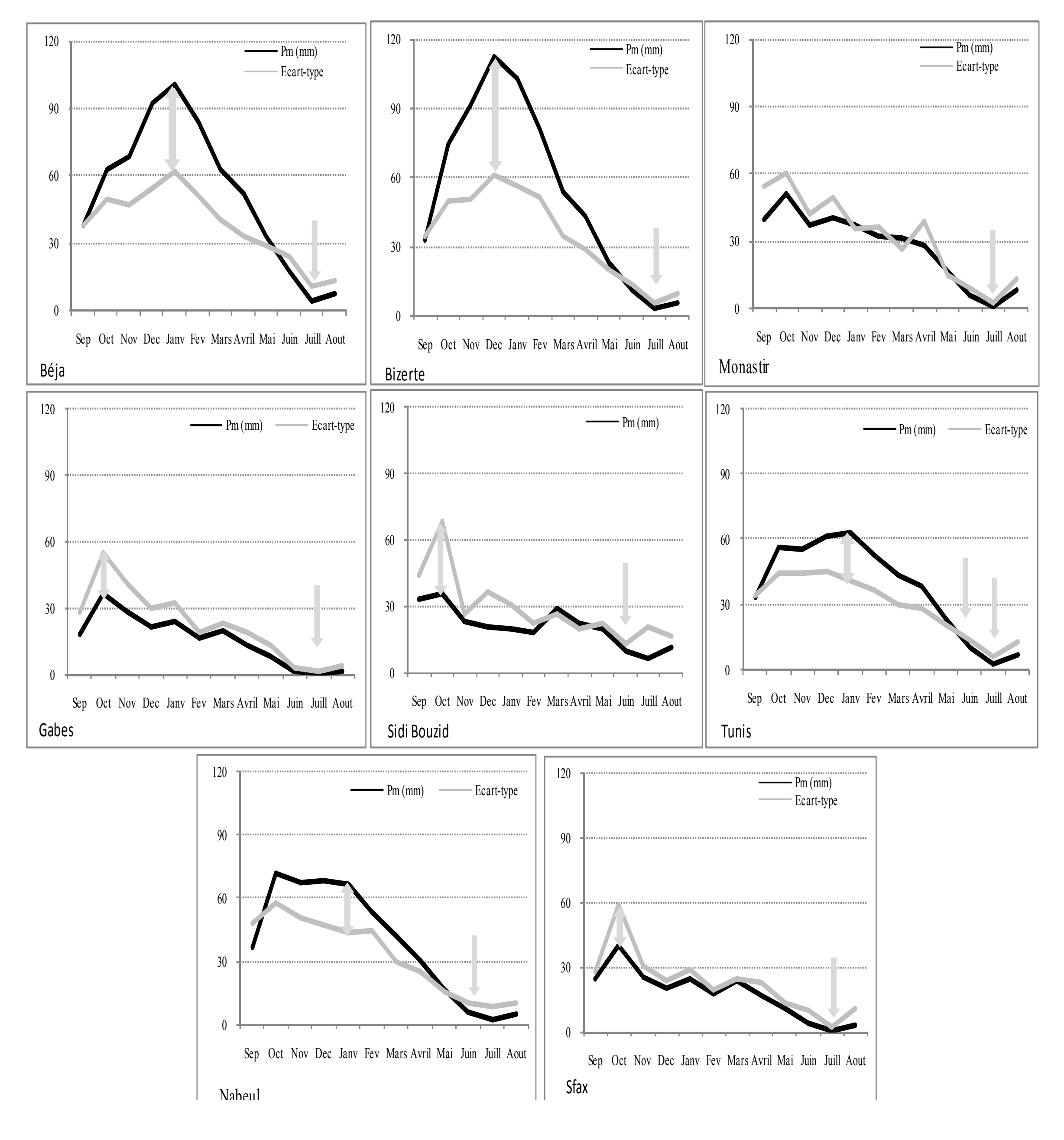


Fig.1. Pluviométrie mensuelle moyenne enregistrée durant la période 1901-2000 dans les différents sites étudiés et valeurs correspondantes de l'écart-type.

La pluie moyenne reçue à Gabes est de 190 mm /an avec un écart-type de 99 mm.
Les pluies annuelles ont varié entre 552 mm (1976) et 39 mm (1947).
L'écart-type est égal à la moyenne au cours des mois d'été.
Pour 38 années sur 100 la pluie annuelle dépasse la moyenne.
Années ou la pluie = écart-type sur 100 ans: 1908-1916-1934-1940-1993.
Années ou la pluie est inférieure à l'écart-type : 1924-1930-1926-1927-1936-1947-1956-1997-1961-1962.
1901-1923, 0 pluie < 99 mm.
1963-1996, 0 pluie < 99mm.
1924-1962 : 10 années sur 39, Pluie annuelle < écart-type= 99mm
1924-1962 : pluie comprise entre 39 mm et 490 mm avec 12 années sur 39 où la

pluie est supérieure à la moyenne des 100 ans.
La pluie moyenne enregistrée à Béja est de 628 mm /an avec un écart- type moyen de 155 mm.
Les pluies annuelles ont varié entre 1063 mm (1916) et 305 mm (1995).
L'écart-type est égal à la moyenne au cours des mois d'été.
44 années sur 100 la pluie annuelle dépasse la moyenne.
Les pluies reçues au cours des différentes périodes phénologiques sont portées à la **figure 2.**

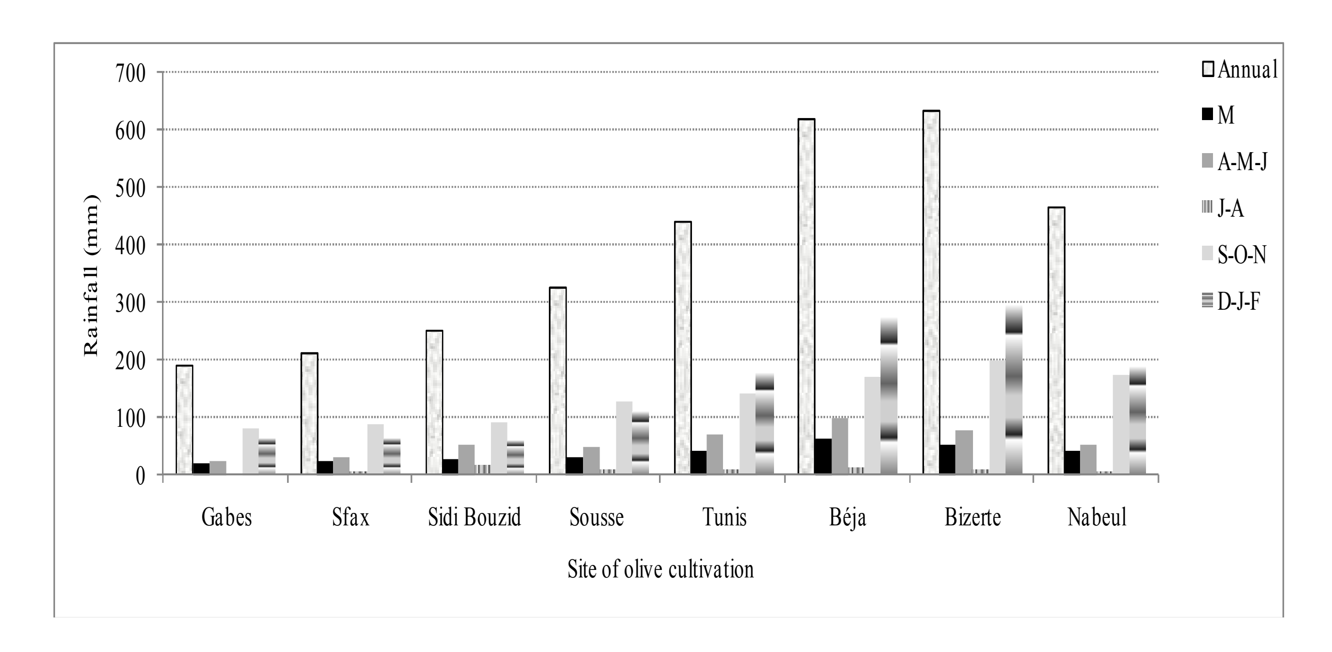


Fig.2 Quantité de pluie reçue (mm) en fonction des périodes de développement de la culture de l'olivier pour les sites étudiés. Les valeurs sont des moyennes calculées sur 99 ans entre 1901 et 2000.

L'indice d'aridité UNEP est utilisé pour caractériser les sites étudiés tel que défini par **Thornthwaite (1948)** sur la base du rapport entre l'ET_0 déterminé par la formule de Thornthwaite et des précipitations annuelles moyennes.

Tableau 3. Classification des sites selon l'indice d'aridité : $ET_{o\ Thornthwaite}$ / Pluie annuelle.

	ET_0-TW (mm/an)	Pluie (P, mm/an)	Indice d'aridité	Type de Climat
Tunis	1556	450	0.29	Semi-aride
Béja	1471	628	0.43	Semi-aride
Nabeul	1593	468	0.29	Semi-aride
Monastir	1680	328	0.20	Semi-aride
Gabes	1762	190	0.11	Aride
Sidi Bouzid	1635	252	0.15	Aride
Bizerte	1494	635	0.42	Semi-aride

NB : La classification de Thornthwaite (TW) est basée sur l'index d'aridité UNEP **(Victor et San-Diego, 2016 - Online_Thornthwaite)**
Hyperaride: 0-0.08, Aride: 0.08-0.2, Semi-aride: 0.2-0.5, subhumide inférieur: 0.5-0.65, subhumide supérieur: 0.65-1, Humide: 1-2.

L'IA varie de 0,11 à 0,43, signifiant que la Tunisie est dominée par les climats arides et semi-arides. Cette constatation corrobore avec Kassas (2005) pour lequel la Tunisie est dominée par ces deux climats en dehors de la région de Kroumirie caractérisée par un climat sub-humide avec un IA allant de 0,5 à 0,65. Ces résultats sont aussi en accord avec ceux communiqués par les
études de *répartition régionale des pluies* illustrant la structuration des climats en Tunisie **(Kassas, 2005)** mais différents des résultats de la FAO qui classent le climat Tunisien en dehors des climats arides au vue de la longue période de végétation des cultures qui s'étend sur plus de 120 jours/an (4 mois/an).
D'après cette classification il ressort que:
- La Tunisie n'est pas concernée par les climats humides et subhumides.
- Les climats arides et semi-arides dominent le paysage du Centre et du Sud Tunisiens.
- La région de Bizerte, même si elle est côtière avec des précipitations relativement importantes et des hivers froids, n'est pas considérée comme région subhumide. Son IA est proche de celui de Béja, région continentale du NW.

Les climats de Gabès et Sidi Bouzid sont tous deux arides en dépit de leur localisation par rapport à la mer.

2.4. Formules empiriques utilisées pour calculer ET_0

Depuis 1950, plusieurs formules ont été développées pour estimer l'évapotranspiration potentielle (ETP) ou de référence (ET_0). Elles sont classées en quatre groupes selon le paramètre utilisé :

Méthode utilisant la température :

Blaney-Criddle (1950)

Méthodes utilisant la radiation

Méthodes de Christiansen-Hargreaves (1969)

Méthode de Hargreaves-Samani (1985).

Méthodes utilisant l'humidité relative de l'air

Méthode d'Ivanov (1954):

Méthode d'Eagleman (1967) :

Méthodes combinées

Méthode de Penman originale (1963).

Méthode de Penman-Monteith (1998).

Ces formules utilisent des données climatiques moyennes journalières ou mensuelles ou des valeurs absolues minimales et maximales de la température et de l'humidité relative de l'air. Leur formule et les données nécessaires sont explicitées dans le **Tableau 4.** Plusieurs de ces formules ont été utilisées pour la gestion de l'irrigation et/ou la prédiction des rendements. Mais au vu des erreurs induites qui sont liées aux étapes de calcul et à l'estimation de certains paramètres climatiques comme les rayonnements nets de courtes et de longues longueurs d'ondes, une consultation d'experts, avec *la Commission Internationale d'Irrigation et de Drainage et l'Organisation Internationale de la Météorologie* a adopté en 1998 la méthode de Penman Monteith (PM) comme *la méthode de référence* pour déterminer ET_0. Elle est reconnue comme étant la formule la plus adéquate pour la plupart des régions et des climats et ainsi devenue the *American Society of Civil Engineers (ASCE) Standardized Reference ET equation* **(Allen et al., 1996 ; Allen et al., 1998)** mais elle ne peut être utilisée que si l'on dispose de séries de données climatiques complètes.

Tableau 4. Formules de calcul de la demande climatique.

Méthode	Variable Climatique	Formule	Observation
Blaney-Criddle (1950) modifiée par Doorenbos et Pruitt (1977)	T_{moy}, n, N	$ET_o = P_1 \times t/100$, (pouce mois^{-1}) $ET_o = (8 + 0.46\ T_{moy}) \times n/N / i$	Utilisée lorsqu'on dispose de la température comme seule donnée climatique (pouce jour^{-1})
Hargreaves-Samani (1985)	T_{moy}, R_a, T_{max}, T_{min}, R_a	Original : $ET_o = 0.0023\ R_a\ \Delta T^{0,5} \times (T_{moy} + 17.8)$ Modified : $ET_o = 0.0035\ R_a\ \Delta T^{0,5} \times (T_{moy} + 12.54)$	(mm jour^{-1})
Christiansen-Hargreaves (1969)	R_s ou R_a, U_2, T_{moy}, RH_{moy} et E	Original : $ET_o = 0.492\ R_s \times C_{TT} \times C_{WT} \times C_{HT}$ Modified : $ET_o = 0.324\ R_a \times C_{TT} \times C_{WT} \times C_{HT} \times C_{ST} \times C_R$	R_s et R_a sont exprimés en cal/cm^2/jour ET_o (mm jour^{-1})
Penman Originale (1963) Penman Monteith (1998)	T_{moy}, e_o, U_2, n, N, R_a, RH_{moy},	$ET_o = [\Delta / (\Delta+\gamma) (R_n+G)] + [\gamma / (\Delta+\gamma) \times 15.36 (1+0,0062U_2 \times (e^o-e))]$ $ET_o = \frac{[[0.408 \times \Delta \times (R_n-G)] + [900 \times \gamma/(T+273) \times (e^o-e) \times U_2]}{\Delta + [\gamma \times (1+0.34 \times U_2)]}$	(cal cm^{-2} jour^{-1}) (mm jour^{-1})
Ivanov (1954)	T_{max}, T_{min}, T_m, e_o, RH_{moy}, RH_{max}, RH_{min}	$ET_o = 0.0018 \times (T + 25)^2 \times (100 - e/e^o\ 100)$	(mm mois^{-1})
Eagleman (1967)	T_{max}, T_{min}, $T_{average}$, e_o, RH_{moy}, RH_{max}, RH_{min}	$ET_o = 0.035 \times e^o \times (100 - RH_{moy})^{0.5}$	(pouce jour^{-1})
Stephens et Stewart (1965)	T_{moy}, R_a, n, N	$ET_o = (0.014\ T_{moy} - 0.37) \times R_s / 1500 / 0.039$ with $R_s = (0.25 + 0.5\ n/N) \times R_a$	
Turc (1961-1965)	T_{moy}, RH_{moy}, R_a, n, N	RH>50% : $ET_o = 0.40\ (R_s+50)\ T_{moy} / (T_{moy} + 15)$ RH<50% : $ET_o = 0.40\ (R_s+50)\ T_{moy} / (T_{moy} + 15)\ (1+50- RH_{moy})/70$ avec $R_s = (0.25 + 0.5\ n/N) \times R_a$	

<u>Conversions:</u>

1 mm jour^{-1} = 25,4 pouces

1cal cm^{-2} jour^{-1} = 4,1868.10^{-2} MJ m^{-2} jour^{-1}

1 mm jour^{-1} = 2,45 MJ m^{-2} jour^{-1}.

1 cal cm^{-2} jour^{-1} = 0,017 mm jour^{-1}.

Abréviations et symboles:

ASCE: Equation standard de ET de 'American Society of Civil Engineers'.

BC: Formule / Méthode de Blaney-Criddle.

C_{TT}, C_{WT}, C_{HT}, C_{ST}, C_R: Fonction de température, vent, humidité relative de l'air, insolation et élévation.

$C_{TT} = 0{,}463 + 0{,}425\ (T/T_o) + 0{,}112\ (T/T_o)^2$ avec T : Température mensuelle moyenne (°C) ;

$C_{WT} = 0{,}672 + 0{,}406\ (U_2/W_o) - 0{,}078(U_2/W_o)^2$

$C_{HT} = 1{,}035 + 0{,}240\ (HR/H_o)^2 - 0{,}275\ (HR/Ho)^2$,

HR : Humidité relative moyenne.

$C_{ST} = 0{,}340 + 0{,}856\ (n/N)/S_o - 0{,}196\ ((n/N)/S_o)^2$ avec n/N : Nombre d'heures diurnes/nombre maximal d'heures d'insolation.

$CE = 0{,}970 + 0{,}03\ (E/E_o)$ avec E, l'élévation (en pieds)

c_p: Chaleur Spécifique de l'air,

Chr. Harg.: Méthode de Christiansen-Hargreaves pour déterminer ET_0

E: Elevation.

ET_0: Evapotranspiration de référence (mm/jour).

ET_c: Evapotranspiration de la culture (mm).

ET_c-PM: Evapotranspiration de la culture calculée sur la base de l'ET_0 Penman-Monteith (mm).

ET_c-P: Déficit climatique de l'air (mm)

EAG: Méthode d'Eagleman.

$e_o - e_a$: Déficit de tension de vapeur (mb) de l'air (KPa), VPD,

e_o et e_a : tension de vapeur saturante et tension de vapeur de l'air à la température ambiante (mb).

e_a: Pression de vapeur saturante actuelle (kPa), $e_a = [e_{o\,Tmax}\, RH_{min} + e_{o\,Tmin}\, H_{max}]/200$.

e_s: Pression de vapeur saturante (KPa),

$e_s = 0.5\ [e_o(T_{max}) + e_o(T_{min})]$,

$e^o\ (_{Tmax})$: Pression de vapeur saturante à T_{max} (KPa),

$e^o\ (_{Tmin})$: Pression de vapeur saturante à T_{min} (KPa),

f (u) : fonction liée au vent. Elle est exprimée en km/jour par : $f(u) = 0{,}27\ (1 + U_2/100)$;

F: Fréquence de la pluie (%).

FAO-PM: Méthode de Penman-Monteith

G: Densité de flux de chaleur du sol (MJ m^{-2} $jour^{-1}$) et G_{mois}, sa valeur mensuelle (MJ m^{-2}).

HS: Formule de Hargreaves-Samani.

IA: Indice d'aridité.

INM: Institut National de Météorologie de Tunisie.

i: Nombre de jours du mois.

K_c: Coefficient cultural et K_r: Coefficient introduit pour prendre en compte la couverture du sol.

K: Constante de Boltzman.

N: Nombre d'heures maximal d'insolation (H/jour), n: Nombre d'heures d'insolation réel (H/mois) et n/N = p: Rapport des heures d'insolation.

LAI: Indice foliaire.

P: Pluie (mm)

PM: Equation de Penman-Monteith

PMT: La méthode de Penman Monteith-Température.

PO: Méthode Originale de Penman pour le calcul de l'ET_0

(P_1) : pourcentage mensuel d'heures diurnes

RH_{max}, RH_{min} et $RH_{average}$: Humidité relative maximale, minimale et moyenne de l'air

L'humidité de l'air est exprimée par le déficit de tension de vapeur (e_o – e) qui représente la différence entre la tension de vapeur d'eau saturante moyenne à T_{air} et la tension de vapeur d'eau réelle moyenne à la même température (mb).

r_s et r_a : Resistances stomatique et de l'air
R_n : Rayonnement net à la surface du sol, obtenu par différence entre le rayonnement intercepté et le rayonnement émis. R_n est exprimé en MJ m^{-2} $jour^{-1}$ ou cal cm^{-2} $jour^{-1}$.

R_a et R_s: Rayonnement atmosphérique et solaire exprimés en cal/cm^2/jour ou MJ m^{-2} $jour^{-1}$ R_a : dépend uniquement de la latitude. Les valeurs utilisées dans nos calculs sont celles de la **FAO (1998).**
R_{ns}: Radiations courtes (Mj/m^2/jour) et R_{nl}: Radiations longues (Mj/m^2/jour).

ST et SW: Méthodes de Hargreaves-Samani pour le calcul de ET_o

t : Température moyenne mensuelle en degrés Fahrenheit.
T: Tanspiration de l'arbre (litres/jour ou mm/jour).
T: Température moyenne de l'air à 2 m (◦C),
T_{moy} : Température moyenne, par définition : $T_{moy} = (T_{max} + T_{min})/2$, avec :
T_{max} : Somme des T_{max} journalières de la période considérée/nombre de jours ;
T_{min} : Somme des T_{min} journalières de la période considérée/nombre de jours.
TW: Méthode de Thornthwaite.
T_{max}, T_{min} et T_{moy} Température maximale, minimale et moyenne de l'air (°C) et ΔT: $T_{max} - T_{min}$ (°C),
T_{mois}: Température mensuelle moyenne (°C)
TD : Différence entre la température maximale et la température minimale (°C) ;

U_2: vitesse du vent, Km $jour^{-1}$ ou m s^{-1} mesurée à 2 m de hauteur

Mois: Sept.: Septembre, Nov.: Novembre, Déc.: Décembre et Fév.: Février

Δ : Fonction de la température ;

γ : Constante Psychrométrique (kPa ◦C^{-1}), égale à 0,066 kPa °C^{-1}.
Δ: Pente de la courbe de la pression saturante de l'air (KPa ◦C^{-1}),

T_o, W_o, H_o, S_o et E_o désignent les paramètres de référence.

2.5. Besoins en eau de la culture

2.5.1. Périodes de croissance

L'olivier croit dans le basin Méditerranée sur une période de 270 jours à partir du mois de Mars. La différenciation florale se produit entre mi-février et mi-mars et se poursuit par la floraison et la nouaison. Le premier stade de développement des olives se situe vers la fin du mois de Mai et s'achève par le processus de durcissement du noyau au cours duquel on observe un ralentissement net de la croissance des olives. Entre Juin et Aout, le fruit peut assurer une croissance importante si l'eau est disponible et les températures sont clémentes. Au cours de cette période se produit l'induction des nouveaux bourgeons à fleurs et débute la synthèse des huiles. L'élargissement des olives se fait en Septembre-Octobre.

En vue d'adapter ces stades aux données disponibles de la pluviométrie, cinq '*périodes*' ont été définies sur la base de la description donnée dans la littérature **(Rallo, 1998 et Rallo et al., 2001).**

1: Mars: croissance des pousses et développement des bourgeons.
2: Avril - Juin: floraison et premier stade de développement des olives.
3: Juillet et Aout: développement du fruit.
4: Septembre - Novembre: développement des fruits et des pousses, accumulation des huiles et maturation des olives.
5: Décembre-Février: quiescence hivernale.

2.5.2. Coefficient cultural (K_c)

Les values de K_c recommandées par **Allen et al., (1998)** pour des oliviers adultes varient de 0,5 à 0,7. Pour les jeunes arbres, **Le bourdelles (1977)** recommande l'utilisation de la valeur de 0,3 pour les oliviers âgés de 1 an et 2 ans, 0.4 pour ceux ayant entre 3 et 5 ans et de 0,5-0,7 pour les arbres adultes. Récemment **Braham** et **Boussadia (2013)** ont trouvé pour la Tunisie des valeurs variant de 0,46 à 0,51 **(Tableau 5)** grâce à la technique de mesure du flux de la sève brute **(Granier, 1985)**, avec une valeur moyenne de 0,48 en Avril et 0,47 pour le mois de Mai.

Tableau 5. Valeurs de K_c obtenues pour des oliviers adultes cultivés sous de bonnes conditions hydriques **(Braham et Boussadia, 2013).**

Mois	Avril				Mai		
Stades phénologiques	C	D	F	F1	G	H	I
Kc	0,51	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46

2.5.3. Besoins en eau et irrigation

Les besoins en eau de la culture de l'olivier ont été déterminés en adoptant la méthode de la FAO / $ET_c = ET_0 \times K_c \times K_r$. où K_r est introduit pour tenir compte de la couverture du sol par la frondaison. Les besoins en eau d'irrigation (I) sont déduits après soustraction de la pluie effective (P_e) reçue pendant une période de temps donnée / $I = ET_c - P$.

3. Résultats

Les résultats sont présentés sous forme de fiches pour chaque station étudiée dans lesquelles sont présentées :

1- Valeurs mensuelles de l'ET_0 (mm/jour) calculées pour Tunis-Carthage selon différentes formules empiriques.

2- La corrélation établie entre ET_o-PM et les autres valeurs de la demande climatique déterminées par les différentes formules présentées et le tableau des coefficients de corrélation.

3- Variations relatives de l'ET_0 calculées pour les différentes méthodes empiriques par rapport à ET_0-PM ce qui nous a permis de classer les méthodes : celles qui surestiment l'ET_o par rapport à PM et celles qui la sous-estiment.

4- Variations relatives de l'ET_0 (mm/jour) calculées par les différentes méthodes empiriques par rapport à ET_0-PM en fonction des différentes périodes phénologiques.

5- Choix de la méthode qui donne le moins de variation par rapport à PM en rapport avec les périodes phénologiques.

6- Détermination des besoins en eau de la culture (ET_c) à l'échelle annuelle et de la saison en fonction des stades et des méthodes de calcul et les besoins d'irrigation (P-ET_c).

7- Elaboration des fonctions de répartition à l'échelle annuelle et en rapport avec les stades pour chaque station.

3.1. Fiche de la Station de TUNIS – CARTHAGE

Tableau 1. Valeurs mensuelles de l'ET_0 (mm/jour) calculées en utilisant différentes formules empiriques. Tunis-Carthage.

Tunis-Carthage	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ET_o Annuelle (mm)
PM	1,65	2,13	2,76	3,59	4,86	6,08	6,99	6,49	4,85	3,30	2,27	1,70	1423,6
PO	3,4	3,9	4,5	5,2	6,0	6,5	6,7	6,0	4,7	3,7	3,2	3,1	1731,5
BC1	2,4	2,9	3,2	4,0	5,5	6,8	8,2	7,7	5,8	4,2	3,2	2,4	1714,4
BC2	2,4	2,9	3,3	4,0	5,5	6,9	8,3	7,8	5,9	4,3	3,2	2,4	1738,0
Turc	1,4	2,1	2,5	3,4	4,4	5,3	5,7	5,2	4,1	2,8	2,0	1,4	1231,1
ST et SW	1,3	1,8	2,6	3,7	5,4	6,9	8,1	7,5	5,3	3,3	1,9	1,3	1498,1
EAG	4,6	4,8	5,3	6,1	7,8	9,9	11,8	12,2	10,6	8,3	6,2	4,9	2820,5
Ivanov	1,9	2,7	2,6	3,3	3,8	4,7	5,4	5,3	5,0	3,4	2,8	2,2	1307,2
Chr Harg	1,4	2,0	2,7	3,8	5,2	6,7	7,6	6,9	4,9	3,0	1,8	1,3	1440,4
Harg Sam O	1,3	2,0	2,6	3,7	4,8	5,9	6,3	5,7	4,4	2,8	1,8	1,3	1296,7

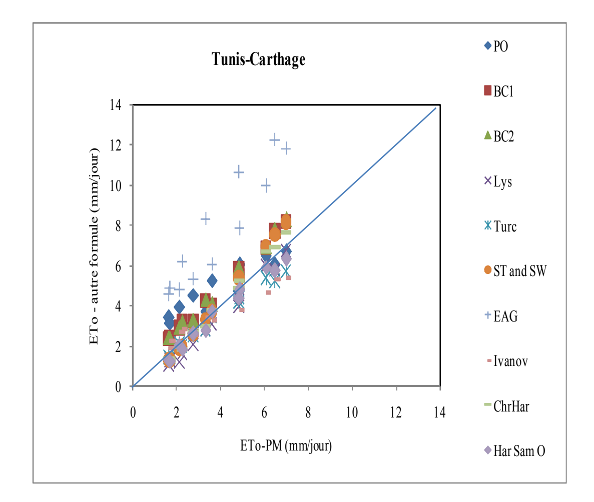


Tableau 2. Coefficients de corrélations entre ET_0 – PM et ET_0 calculée par les autres méthodes empiriques (mm/jour). Tunis-Carthage.

Méthode	r
PO	0,926
BC1	0,994
BC2	0,994
Turc	0,992
ST *and* SW	0,999
EAG	0,939
Ivanov	0,962
Chr Harg	0,997
Harg Sam	0,990

Fig.1. Corrélation entre ET_0-PM et ET_0 calculée par les autres formules empiriques (mm/jour) pour la station de Tunis-Carthage.

Tableau 3. Valeurs de l'ET_o (mm/jour) calculées par les différentes méthodes empiriques et leurs variations relatives par rapport à ET_0-PM pour les différents stades présentés. Tunis-Carthage.

Tunis-Carthage	**1**	**Moy**		**2**		**Moy**	**3**		**Moy**		**4**		**Moy**		**5**		**Moy**	**Variation annuelle**
	MAR		**AVR**	**MAI**	**JUI**		**JUIT**	**AOU**		**SEP**	**OCT**	**NOV**		**DEC**	**JAN**	**FEV**		
PM	2,8		3,6	4,9	6,1	4,8	7,0	6,5	6,7	4,8	3,3	2,3	3,5	1,7	1,7	2,1	1,8	
PO	4,5		5,2	6,0	6,5	5,9	6,7	6,0	6,3	4,7	3,7	3,2	3,9	3,1	3,4	3,9	3,5	
Δ (%)	**62,9**	**62,9**	**45,8**	**23,7**	**6,1**	**25,2**	**-4,8**	**-7,4**	**-6,1**	**-2,5**	**11,6**	**39,1**	**16,1**	**84,6**	**104,9**	**84,2**	**91,2**	**37.3**
BC1	3,2		4,0	5,5	6,8	5,4	8,2	7,7	7,9	5,8	4,2	3,2	4,4	2,4	2,4	2,9	2,5	
BC2	3,3		4,0	5,5	6,9	5,5	8,3	7,8	8,0	5,9	4,3	3,2	4,5	2,4	2,4	2,9	2,6	
Δ (%)	**-19,0**	**-19,0**	**-12,5**	**-14,1**	**-13,6**	**-13,4**	**-18,1**	**-19,9**	**-19,0**	**-21,6**	**-30,0**	**-42,4**	**-31,4**	**-43,0**	**-45,2**	**-37,4**	**-41,9**	**-26.4**
Turc	2,5		3,4	4,4	5,3	4,4	5,7	5,2	5,4	4,1	2,8	2,0	3,0	1,4	1,4	2,1	1,6	
Δ (%)	**9,3**	**9,3**	**4,1**	**9,5**	**12,1**	**8,6**	**18,9**	**19,6**	**19,3**	**14,8**	**15,4**	**13,2**	**14,5**	**17,5**	**13,8**	**1,0**	**10,8**	**12.4**
ST *and* SW	2,6		3,7	5,4	6,9	5,3	8,1	7,5	7,8	5,3	3,3	1,9	3,5	1,3	1,3	1,8	1,5	
Δ (%)	**7,0**	**7,0**	**-2,2**	**-10,3**	**-13,8**	**-8,8**	**-15,9**	**-15,5**	**-15,7**	**-10,4**	**0,4**	**14,6**	**1,5**	**25,2**	**22,3**	**14,0**	**20,5**	**+1.3**
EAG	5,3		6,1	7,8	9,9	7,9	11,8	12,2	12,0	10,6	8,3	6,2	8,4	4,9	4,6	4,8	4,7	
Δ (%)	**-91,9**	**-91,9**	**-69,0**	**-61,3**	**-63,5**	**-64,6**	**-68,9**	**-88,6**	**-78,8**	**-119,1**	**-151,2**	**-173,8**	**-148,0**	**-185,8**	**-175,4**	**-124,7**	**-161,9**	**-114.4**
Ivanov	2,6		3,3	3,8	4,7	3,9	5,4	5,3	5,3	5,0	3,4	2,8	3,7	2,2	1,9	2,7	2,3	
Δ (%)	**6,8**	**6,8**	**8,1**	**22,7**	**23,1**	**18,0**	**22,8**	**18,3**	**20,6**	**-2,7**	**-3,1**	**-23,7**	**-9,8**	**-30,4**	**-13,4**	**-25,1**	**-23,0**	**+0.3**
Chr Harg	2,7		3,8	5,2	6,7	5,2	7,6	6,9	7,3	4,9	3,0	1,8	3,2	1,3	1,4	2,0	1,5	
Δ (%)	**2,6**	**2,6**	**-4,7**	**-8,0**	**-9,7**	**-7,5**	**-9,3**	**-6,3**	**-7,8**	**-0,2**	**9,3**	**18,4**	**9,1**	**24,3**	**18,1**	**8,3**	**16,9**	**+3.6**
Harg Sam O	2,6		3,7	4,8	5,9	4,8	6,3	5,7	6,0	4,4	2,8	1,8	3,0	1,3	1,3	2,0	1,5	
Δ (%)	**6,2**	**6,2**	**-3,1**	**1,9**	**3,1**	**0,6**	**9,9**	**11,9**	**10,9**	**10,0**	**16,1**	**20,2**	**15,4**	**25,6**	**20,5**	**3,9**	**16,6**	**+10.5**

- Les méthodes qui surestiment ET_0 par rapport à PM sont PO, Turc, Chr Harg et Harg Sam.
- Celles qui la sous-estiment sont BC et EAG.
- Celles qui donnent un ordre de grandeur comparable sont celles de ST *and* SW et Ivanov.
- La variation maximale est obtenue par la formule d'EAG.
- La variation minimale est obtenue par la formule d'Ivanov.
- La méthode qui donne la plus faible variation relative de l'ET_0 par rapport à PM à l'échelle de l'année n'est pas la méthode la plus appropriée au niveau des stades de développement comme le montre le tableau suivant:

Tableau 4. Choix de la méthode de calcul de l'ET_0 pour Tunis-Carthage en fonction du stade de développement. Méthodes donnant la variation minimale de l'ET_0 (mm/jour) par rapport à PM.

Stade	Période	Méthode de prédilection
1	Mars	Chr Harg
2	Avril à juin	Harg Sam
3	Juillet-Aout	PO
4	Sept-Novembre	ST *and* SW
5	Déc-Janv-Fév	Turc

Les fonctions de répartition pour les différents stades sont représentées ci-dessous.

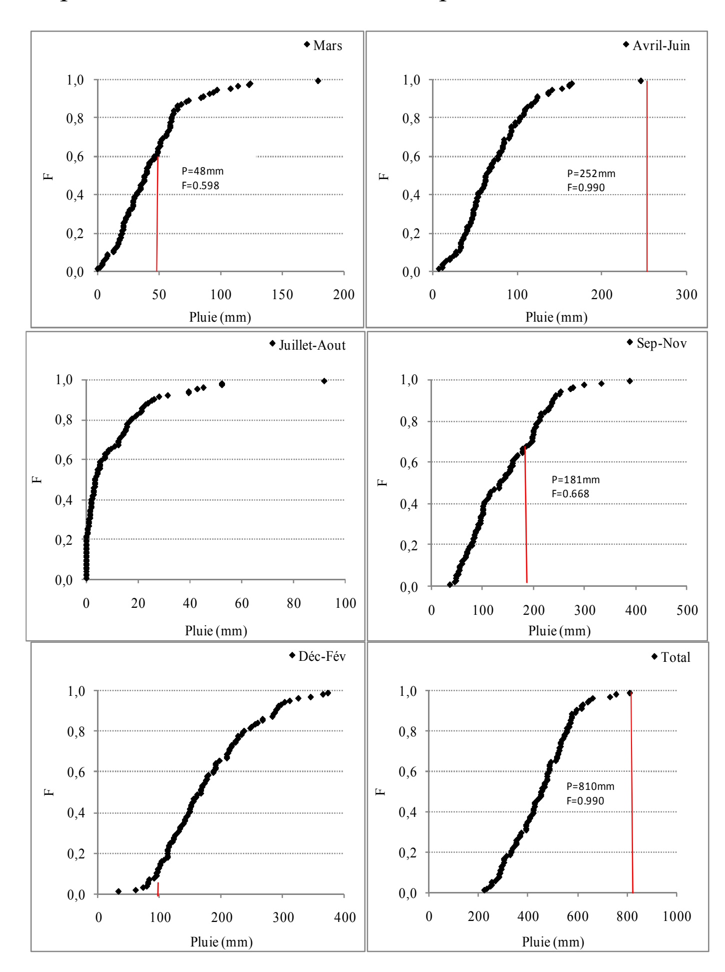


Fig.2. Fonction de répartition de la pluie à la station de Tunis-Carthage à l'échelle annuelle en rapport avec les stades de développement. Les barres représentent le besoin en eau de l'olivier âgé de 10 ans et plus.

Les fréquences de '*non satisfaction'* des besoins en eau selon la période de développement sont portées au tableau suivant :

Tableau 5. Besoins en eau de l'olivier (ET_c, mm) selon l'âge et la période de développement (1, 2, 3, 4, 5) et fréquences correspondantes de '*non satisfaction*' (F) des besoins en eau par la pluie reçue au cours de la même période. Tunis – Carthage.

	1		2		3		4		5		Total	
Tunis	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F
1-2ans	18	0,163	95	0,761	88	0,945	68	0,150	36	0,011	304	0,171
3-5ans	24	0,284	126	0,931	117		90	0,275	48	0,014	405	0,370
6-10ans	32	0,398	169	0,990	157		121	0,456	64	0,021	543	0,768
>10 ans	48	0,598	252	0,990	234		181	0,668	95	0,089	810	0,990

1: Mars: croissance des pousses et développement des bourgeons. 2: Avril-Juin: floraison et premier stade de développement des olives. 3: Juillet et Aout: développement du fruit. 4: Septembre–Novembre: croissance des pousses et développement des fruits, accumulation des huiles et maturation des olives. 5: Décembrer-Février: Quiescence hivernale.

Lorsque $P_e < ET_c$, les doses d'irrigation à appliquer sont $I = ET_c - P_e$, avec ET_c les valeurs présentées dans le tableau suivant selon la méthode de calcul et P_e la pluviométrie effective mensuelle.

Tableau 6. Paramètres climatiques (P, P_e, ET_o, mm), besoins en eau ($ET_{c\text{-}PM}$, mm) et besoins en eau d'irrigation pour des oliviers adultes (plus de 10 ans) et jeunes (1 an et 2 ans). Valeurs de l'ET_o selon la méthode de calcul. Région de Tunis.

Tunis-Carthage	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	**JUIT**	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
	31	28	31	30	31	30	**31**	31	30	31	30	31
Pluie (mm)	33,7	56,8	55,3	61,7	62,9	52,9	**43,9**	38,6	23,4	10,3	2,9	7,3
Pe (mm)	23,6	39,7	38,7	43,2	44,0	37,1	**30,7**	27,0	16,4	7,2	2,0	5,1
ETo-PM	1,65	2,13	2,76	3,59	4,86	6,08	**6,99**	6,49	4,85	3,3	2,27	1,7
Pe-ETo	**-28**	**-20**	**-47**	**-65**	**-107**	**-145**	**-186**	**-174**	**-129**	**-95**	**-66**	**-48**
ETc-PM adulte	27	31	45	57	79	96	**114**	106	76	54	36	28
ETc-PM Jeune	11	13	18	23	32	38	**46**	42	31	21	14	11
Pe-ETc Adulte	-3	8	-6	-13	-35	-59	**-83**	-79	-60	-46	-34	-23
Pe-ETc Jeune	13	27	21	21	12	-1	**-15**	-15	-14	-14	-12	-6
I (mm) Adulte	**3**	**0**	**6**	**13**	**35**	**59**	**83**	**79**	**60**	**46**	**34**	**23**
I (mm) Jeune	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**15**	**15**	**14**	**14**	**12**	**6**
ETo-PO	3,4	3,9	4,5	5,2	6	6,5	**6,7**	6	4,7	3,7	3,2	3,1
ETc adulte	55,3	57,3	73,2	81,9	97,7	102,4	**109,0**	97,7	74,0	60,2	50,4	50,5
ETc jeune	22,1	22,9	29,3	32,8	39,1	41,0	**43,6**	39,1	29,6	24,1	20,2	20,2
ETo-BC1	2,4	2,9	3,2	4	5,5	6,8	**8,2**	7,7	5,8	4,2	3,2	2,4
ETc adulte	39,1	42,6	52,1	63,0	89,5	107,1	**133,5**	125,3	91,4	68,4	50,4	39,1
ETc jeune	15,6	17,1	20,8	25,2	35,8	42,8	**53,4**	50,1	36,5	27,3	20,2	15,6
ETo-BC2	2,4	2,9	3,3	4	5,5	6,9	**8,3**	7,8	5,9	4,3	3,2	2,4
ETc adulte	39,1	42,6	53,7	63,0	89,5	108,7	**135,1**	126,9	92,9	70,0	50,4	39,1
ETc jeune	15,6	17,1	21,5	25,2	35,8	43,5	**54,0**	50,8	37,2	28,0	20,2	15,6
ETo-Turc	1,4	2,1	2,5	3,4	4,4	5,3	**5,7**	5,2	4,1	2,8	2	1,4
ETc adulte	22,8	30,9	40,7	53,6	71,6	83,5	**92,8**	84,6	64,6	45,6	31,5	22,8
ETc jeune	9,1	12,3	16,3	21,4	28,6	33,4	**37,1**	33,9	25,8	18,2	12,6	9,1
ETo-ST et SW	1,3	1,8	2,6	3,7	5,4	6,9	**8,1**	7,5	5,3	3,3	1,9	1,3
ETc adulte	21,2	26,5	42,3	58,3	87,9	108,7	**131,8**	122,1	83,5	53,7	29,9	21,2
ETc jeune	8,5	10,6	16,9	23,3	35,2	43,5	**52,7**	48,8	33,4	21,5	12,0	8,5
ETo-EAG	4,6	4,8	5,3	6,1	7,8	9,9	**11,8**	12,2	10,6	8,3	6,2	4,9
ETc adulte	74,9	70,6	86,3	96,1	126,9	155,9	**192,0**	198,6	167,0	135,1	97,7	79,7
ETc jeune	29,9	28,2	34,5	38,4	50,8	62,4	**76,8**	79,4	66,8	54,0	39,1	31,9
ETo-Ivanov	1,9	2,7	2,6	3,3	3,8	4,7	**5,4**	5,3	5	3,4	2,8	2,2
ETc adulte	30,9	39,7	42,3	52,0	61,8	74,0	**87,9**	86,3	78,8	55,3	44,1	35,8
ETc jeune	12,4	15,9	16,9	20,8	24,7	29,6	**35,2**	34,5	31,5	22,1	17,6	14,3
ETo-Chr Harg	1,4	2	2,7	3,8	5,2	6,7	**7,6**	6,9	4,9	3	1,8	1,3
ETc adulte	22,8	29,4	43,9	59,9	84,6	105,5	**123,7**	112,3	77,2	48,8	28,4	21,2
ETc jeune	9,1	11,8	17,6	23,9	33,9	42,2	**49,5**	44,9	30,9	19,5	11,3	8,5
ETo-Harg Sam O	1,3	2	2,6	3,7	4,8	5,9	**6,3**	5,7	4,4	2,8	1,8	1,3
ETc adulte	21,2	29,4	42,3	58,3	78,1	92,9	**102,5**	92,8	69,3	45,6	28,4	21,2
ETc jeune	8,5	11,8	16,9	23,3	31,2	37,2	**41,0**	37,1	27,7	18,2	11,3	8,5

Conclusion 1 (Tunis):

Pour la région de Tunis, les fonctions de répartition montrent que le déficit hydrique est présent pendant tous les stades de développement de la culture de l'olivier même pendant le stade 5 (Décembre-Janvier-Février). Au mois de mars 60% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie. Durant la période Septembre-Novembre, 67% des besoins ne sont pas satisfaits. Entre Décembre et Février, moins de 10% des besoins ne sont pas satisfaits. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer.

En l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode climatique de la FAO et celle de Penman-Monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I) pour la région de Tunis, on utilisera les méthodes présentées pour chacun des stades présentés.

Si on considère la méthode de PM dans le calcul de l'ET_o, on constate que le déficit hydrique est toujours présent et atteint son maximum au mois de juillet. Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation adulte âgée de plus de 10 ans varient de 3 à 83 mm/mois (30 à 830 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1 à 2 ans, les irrigations sont nécessaires à partir de Juin avec un besoin maximal de 15 mm/mois (150 m^3/ha/mois). Pour les différents stades, on calculera P_e-ET_c selon la formule de prédilection, c.-à-d., Christiansen-Hargreaves pour Mars (1), Hargreaves-Samani pour Avril-Juin (2), Penman-originale pour Juillet-Aout (3), ST *and* SW pour Septembre-Novembre (4) et Turc pour Décembre-Février (5).

3.2. Fiche de la Station de NABEUL

Tableau 1. Valeurs mensuelles de l'ET_0 (mm/jour) calculées en utilisant différentes formules empiriques. Nabeul.

Nabeul	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ET_o Annuelle (mm)
PM	2,1	2,6	3,2	4,0	4,6	5,9	6,6	6,2	5,1	3,5	2,7	2,1	1484,8
PO	4,1	4,7	5,3	6,2	6,7	7,4	7,7	7,0	5,6	4,4	3,8	3,8	2030,0
BC1	2,1	2,7	3,2	3,9	4,7	6,3	7,6	7,0	5,3	3,6	2,4	2,2	1551,1
BC2	2,1	2,7	3,2	4,0	4,8	6,3	7,7	7,1	5,3	3,7	2,4	2,2	1572,3
Turc	1,4	2,1	2,5	3,4	4,1	5,1	5,4	4,9	3,9	2,6	1,8	1,4	1180,4
ST et SW	1,3	1,9	2,6	3,7	4,9	6,5	7,7	7,1	5,1	3,2	1,7	1,3	1429,9
EAG	4,9	5,1	5,5	6,2	7,4	9,7	11,6	12,3	11,2	8,8	6,6	5,2	2878,1
Ivanov	2,0	2,4	2,2	2,5	2,4	3,4	3,9	3,8	3,3	2,5	2,3	1,9	997,8
ChrHar	1,2	1,8	2,6	3,5	4,2	5,6	6,3	5,7	4,3	2,6	1,6	1,2	1241,1
Har Sam O	1,3	2,0	2,4	3,2	3,8	5,0	5,3	4,7	3,8	2,4	1,6	1,2	1114,5

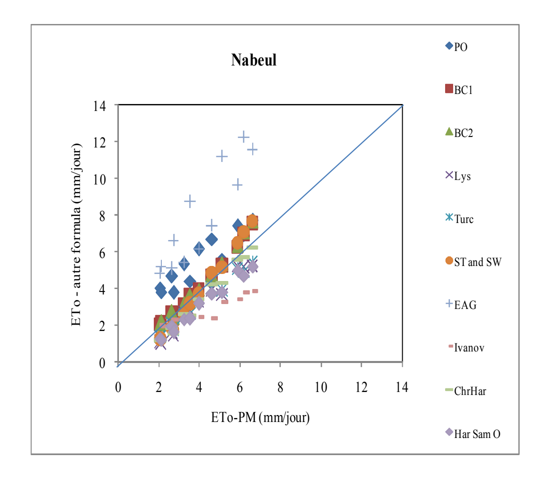


Tableau 2. Coefficients de corrélations entre ET_0 – PM et ET_0 calculée par les autres méthodes empiriques (mm/jour). Nabeul.

Méthode	r
PO	0,927
BC1	0,993
BC2	0,993
Turc	0,990
ST *and* SW	0,997
EAG	0,907
Ivanov	0,950
Chr Harg	0,995
Harg Sam	0,990

Fig.1. Corrélation entre ET_0-PM et ET_0 calculée par les autres formules empiriques (mm/jour) pour la station de Nabeul.

Tableau 3. Valeurs de l'ET_o (mm/jour) calculées par les différentes méthodes empiriques et leurs variations relatives par rapport à ET_0-PM pour les différents stades phénologiques. Nabeul.

Nabeul	**1**	**Moy**		**2**		**Moy**	**3**		**Moy**		**4**		**Moy**		**5**		**Moy**	**Variation annuelle**
	MAR		**AVR**	**MAI**	**JUI**		**JUIT**	**AOU**		**SEP**	**OCT**	**NOV**		**DEC**	**JAN**	**FEV**		
PM	3,2		4,0	4,6	5,9	4,8	6,6	6,2	6,4	5,1	3,5	2,7	3,8	2,1	2,1	2,6	2,3	
PO	5,3		6,2	6,7	7,4	6,8	7,7	7,0	7,3	5,6	4,4	3,8	4,6	3,8	4,1	4,7	4,2	
Δ (%)	**64,4**	**64,4**	**55,4**	**45,2**	**25,8**	**42,1**	**16,3**	**12,4**	**14,4**	**9,9**	**24,4**	**38,9**	**24,4**	**83,0**	**97,5**	**77,0**	**85,8**	**+45.8**
BC1	3,2		3,9	4,7	6,3	5,0	7,6	7,0	7,3	5,3	3,6	2,4	3,8	2,2	2,1	2,7	2,3	
BC2	3,2		4,0	4,8	6,3	5,0	7,7	7,1	7,4	5,3	3,7	2,4	3,8	2,2	2,1	2,7	2,4	
Δ (%)	**1,0**	**1,0**	**-0,7**	**-2,9**	**-7,5**	**-3,7**	**-15,6**	**-14,2**	**-14,9**	**-4,4**	**-4,2**	**10,9**	**0,8**	**-6,9**	**-1,5**	**-3,9**	**-4,1**	**-4.2**
Turc	2,5		3,4	4,1	5,1	4,2	5,4	4,9	5,2	3,9	2,6	1,8	2,8	1,4	1,4	2,1	1,6	
Δ (%)	**22,6**	**22,6**	**13,0**	**12,2**	**13,8**	**13,0**	**18,0**	**20,1**	**19,1**	**23,1**	**25,4**	**34,6**	**27,7**	**33,4**	**32,1**	**20,2**	**28,6**	**+22.4**
ST *and* SW	2,6		3,7	4,9	6,5	5,0	7,7	7,1	7,4	5,1	3,2	1,7	3,4	1,3	1,3	1,9	1,5	
Δ (%)	**19,8**	**19,8**	**6,5**	**-5,6**	**-9,9**	**-3,0**	**-15,9**	**-14,1**	**-15,0**	**-0,4**	**10,0**	**36,2**	**15,3**	**39,2**	**38,8**	**29,8**	**35,9**	**+11.2**
EAG	5,5		6,2	7,4	9,7	7,8	11,6	12,3	11,9	11,2	8,8	6,6	8,9	5,2	4,9	5,1	5,1	
Δ (%)	**-68,4**	**-68,4**	**-56,3**	**-60,9**	**-63,9**	**-60,4**	**-74,9**	**-98,0**	**-86,4**	**-119,4**	**-147,2**	**-143,0**	**-136,5**	**-148,3**	**-138,0**	**-93,5**	**-126,6**	**-101.0**
Ivanov	2,2		2,5	2,4	3,4	2,8	3,9	3,8	3,9	3,3	2,5	2,3	2,7	1,9	2,0	2,4	2,1	
Δ (%)	**31,0**	**31,0**	**36,7**	**47,7**	**41,8**	**42,1**	**41,0**	**38,3**	**39,6**	**35,0**	**29,0**	**15,6**	**26,5**	**8,2**	**1,1**	**10,6**	**6,6**	**+28**
Chr Harg	2,6		3,5	4,2	5,6	4,4	6,3	5,7	6,0	4,3	2,6	1,6	2,8	1,2	1,2	1,8	1,4	
Δ (%)	**20,3**	**20,3**	**12,5**	**8,0**	**5,1**	**8,5**	**5,2**	**7,5**	**6,3**	**15,4**	**27,0**	**41,5**	**27,9**	**43,3**	**40,2**	**30,1**	**37,9**	**+21.3**
Harg Sam O	2,4		3,2	3,8	5,0	4,0	5,3	4,7	5,0	3,8	2,4	1,6	2,6	1,2	1,3	2,0	1,5	
Δ (%)	**27,4**	**27,4**	**19,2**	**18,5**	**15,3**	**17,7**	**20,8**	**23,9**	**22,3**	**25,6**	**32,7**	**40,1**	**32,8**	**42,4**	**37,1**	**25,0**	**34,8**	**+27.3**

- l'$ET_{0\text{-}PM}$ annuelle pour Nabeul estimée par la méthode de PM est de 1485 mm.
-Les méthodes qui surestiment ET_0 par rapport à PM sont PO, Turc, Ivanov, ST *and* SW, Chr Harg et Harg Sam O.
-Celle qui la sous-estime est EAG,
-Celle qui donne un ordre de grandeur comparable est BC.
-La variation maximale est obtenue par la formule d'EAG.
-La variation minimale est obtenue par la formule de BC.
-La méthode qui donne la plus faible variation relative de l'ET_0 par rapport à PM varie selon le stade phénologique:

Tableau 4. Choix de la méthode de calcul de l'ET_0 pour Nabeul en fonction du stade phénologique. Méthode donnant la variation minimale de l'ET_0 (mm/jour) par rapport à PM.

Stade	Période	Méthode de prédilection
1	Mars	BC
2	Avril à juin	ST *and* SW
3	Juillet-Aout	Chr Harg
4	Sept-Novembre	BC
5	Déc-Janv-Fév	BC

Les fonctions de répartition pour les différents stades sont représentées ci-dessous.

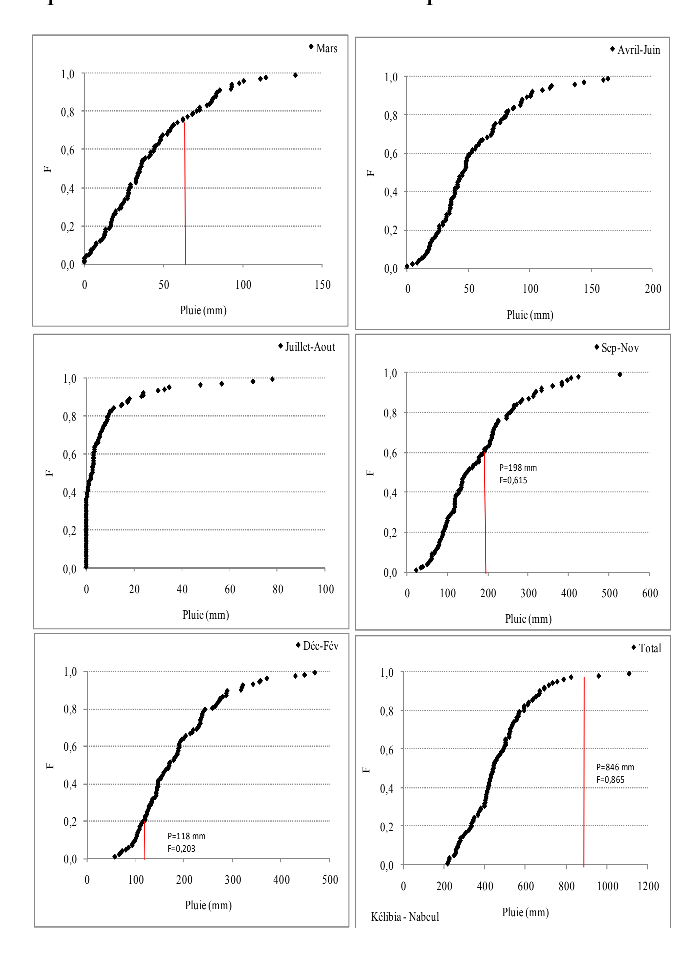


Fig.2. Fonction de répartition de la pluie à la station de Nabeul à l'échelle annuelle et en rapport avec les stades de développement. Les barres représentent le besoin en eau de l'olivier âgé de plus de 10 ans.

Les fréquences de '*non satisfaction'* des besoins en eau selon la période de développement sont portées au Tableau 5.

Tableau 5. Besoins en eau de l'olivier (ET_c, mm) selon l'âge et la période de développement (1, 2, 3, 4, 5) et fréquences correspondantes de '*non satisfaction*' (F) des besoins en eau par la pluie reçue au cours de la même période. Nabeul.

	1		2		3		4		5		Total	
Nabeul	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F
1-2ans	21	0,282	94	0,884	83	0,990	74	0,117	44		317	0,175
3-5ans	28	0,376	126	0,886	111		99	0,248	59	0,009	423	0,427
6-10ans	38	0,547	168	0,990	149		132	0,411	79	0,048	566	0,782
>10 ans	56	0,723	251		223		198	0,615	118	0,203	846	0,865

1: Mars: croissance des pousses et développement des bourgeons. 2: Avril-Juin: floraison et premier stade de développement des olives. 3: Juillet et Aout: développement du fruit. 4: Septembre–Novembre: croissance des pousses et développement des fruits, accumulation des huiles et maturation des olives. 5: Décembrer-Février: Quiescence hivernale.

Lorsque $P_e < ET_c$, les doses d'irrigation à appliquer sont $I = ET_c - P_e$, avec ET_c les valeurs présentées dans le tableau suivant selon la méthode de calcul et P_e la pluviométrie effective mensuelle.

Tableau 6. Paramètres climatiques (P, P_e, ET_o, mm), besoins en eau (ET-PM, mm) et besoins en eau d'irrigation pour des oliviers adultes (> 10 ans) et jeunes (1 an et 2 ans). Valeurs de l'ET_o selon la méthode de calcul. Région de Nabeul.

Nabeul	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Pluie (mm)	36,9	72,3	67,2	68,7	66,7	53,4	42,1	30,6	16,9	6,2	2,4	4,8
Pe (mm)	25,8	50,6	47,0	48,1	46,7	37,4	29,5	21,4	11,8	4,3	1,7	3,4
ETo-PM	2,1	2,6	3,2	4	4,6	5,9	6,6	6,2	5,1	3,5	2,7	2,1
Pe-ETo	**-39**	**-30**	**-52**	**-76**	**-96**	**-146**	**-175**	**-171**	**-146**	**-104**	**-82**	**-62**
ETc-PM adulte	34	38	52	63	75	93	107	101	80	57	43	34
ETc-PM Jeune	14	15	21	25	30	37	43	40	32	23	17	14
Pe-ETc Adulte	-8	12	-5	-15	-28	-56	-78	-80	-69	-53	-41	-31
Pe-ETc Jeune	12	35	26	23	17	0	-13	-19	-20	-18	-15	-10
I (mm) Adulte	8	0	5	15	28	56	78	80	69	53	41	31
I (mm) Jeune	0	0	0	0	0	0	13	19	20	18	15	10
ETo-PO	4,1	4,7	5,3	6,2	6,7	7,4	7,7	7	5,6	4,4	3,8	3,8
ETc adulte	66,7	69,1	86,3	97,7	109,0	116,6	125,3	113,9	88,2	71,6	59,9	61,8
ETc jeune	26,7	27,6	34,5	39,1	43,6	46,6	50,1	45,6	35,3	28,6	23,9	24,7
ETo-BC1	2,1	2,7	3,2	3,9	4,7	6,3	7,6	7	5,3	3,6	2,4	2,2
ETc adulte	34,2	39,7	52,1	61,4	76,5	99,2	123,7	113,9	83,5	58,6	37,8	35,8
ETc jeune	13,7	15,9	20,8	24,6	30,6	39,7	49,5	45,6	33,4	23,4	15,1	14,3
ETo-BC2	2,1	2,7	3,2	4	4,8	6,3	7,7	7,1	5,3	3,7	2,4	2,2
ETc adulte	34,2	39,7	52,1	63,0	78,1	99,2	125,3	115,6	83,5	60,2	37,8	35,8
ETc jeune	13,7	15,9	20,8	25,2	31,2	39,7	50,1	46,2	33,4	24,1	15,1	14,3
ETo-Turc	1,4	2,1	2,5	3,4	4,1	5,1	5,4	4,9	3,9	2,6	1,8	1,4
ETc adulte	22,8	30,9	40,7	53,6	66,7	80,3	87,9	79,7	61,4	42,3	28,4	22,8
ETc jeune	9,1	12,3	16,3	21,4	26,7	32,1	35,2	31,9	24,6	16,9	11,3	9,1
ETo-ST et SW	1,3	1,9	2,6	3,7	4,9	6,5	7,7	7,1	5,1	3,2	1,7	1,3
ETc adulte	21,2	27,9	42,3	58,3	79,7	102,4	125,3	115,6	80,3	52,1	26,8	21,2
ETc jeune	8,5	11,2	16,9	23,3	31,9	41,0	50,1	46,2	32,1	20,8	10,7	8,5
ETo-EAG	4,9	5,1	5,5	6,2	7,4	9,7	11,6	12,3	11,2	8,8	6,6	5,2
ETc adulte	79,7	75,0	89,5	97,7	120,4	152,8	188,8	200,2	176,4	143,2	104,0	84,6
ETc jeune	31,9	30,0	35,8	39,1	48,2	61,1	75,5	80,1	70,6	57,3	41,6	33,9
ETo-Ivanov	2	2,4	2,2	2,5	2,4	3,4	3,9	3,8	3,3	2,5	2,3	1,9
ETc adulte	32,6	35,3	35,8	39,4	39,1	53,6	63,5	61,8	52,0	40,7	36,2	30,9
ETc jeune	13,0	14,1	14,3	15,8	15,6	21,4	25,4	24,7	20,8	16,3	14,5	12,4
ETo-Chr Harg	1,2	1,8	2,6	3,5	4,2	5,6	6,3	5,7	4,3	2,6	1,6	1,2
ETc adulte	19,5	26,5	42,3	55,1	68,4	88,2	102,5	92,8	67,7	42,3	25,2	19,5
ETc jeune	7,8	10,6	16,9	22,1	27,3	35,3	41,0	37,1	27,1	16,9	10,1	7,8
ETo-Harg Sam O	1,3	2	2,4	3,2	3,8	5	5,3	4,7	3,8	2,4	1,6	1,2
ETc adulte	21,2	29,4	39,1	50,4	61,8	78,8	86,3	76,5	59,9	39,1	25,2	19,5
ETc jeune	8,5	11,8	15,6	20,2	24,7	31,5	34,5	30,6	23,9	15,6	10,1	7,8

Conclusion 2 (Nabeul):

Pour la région de Nabeul, les fonctions de répartition montrent que le déficit hydrique est présent pendant tous les stades de développement. Au mois de mars 72% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie. Durant la période Septembre-Novembre, 61% des besoins ne sont pas satisfaits. Entre Décembre et Février, 20% des besoins ne sont pas satisfaits. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer.

En l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode climatique de la FAO et celle de Penman-monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I) pour la région de Tunis, on utilisera les méthodes présentées pour chacun des stades phénologiques présentés.

Si on considère la méthode de PM dans le calcul de l'ET_o, on constate que le déficit hydrique est toujours présent et atteint son maximum au mois de juillet. Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation adulte âgée de plus de 10 ans varient de 5 à 78 mm/mois (50 à 780 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1 à 2 ans, les irrigations sont nécessaires à partir de Juin avec une dose maximale de 20 mm/mois (200 m^3/ha/mois). Pour les différents stades, on calculera P_e-ET_c selon la formule de prédilection, c-àd., Blaney-Criddle pour les stades 1, 4 et 5, ST *and* SW pour le stade 2 (Avril-Juin2) et Christiansen-Hargreaves pour le stade 3 (Juillet-Aout).

3.3. Fiche de la Station de SIDI BOUZID

Tableau 1. Valeurs mensuelles de l'ET_0 (mm/jour) calculées en utilisant différentes formules empiriques. Sidi Bouzid

Sidi Bouzid	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ET_o Annuelle (mm)
PM	1,91	2,51	3,15	4,02	5,06	6,18	7,10	6,38	4,91	3,34	2,34	1,81	1484,7
PO	3,6	4,0	4,5	5,2	5,8	6,1	6,2	5,6	4,5	3,6	3,3	3,3	1694,8
BC1	2,8	3,9	4,372	4,9	5,8	7,0	8,5	7,9	6,8	5,0	3,4	3,3	1937,6
BC2	2,9	3,9	4,44	4,9	5,8	7,1	8,6	8,0	6,9	5,1	3,4	3,3	1964,2
Turc	1,32	2,04	2,51	3,50	4,29	5,05	5,36	4,98	3,93	2,73	1,88	1,36	1187,2
ST *and* SW	1,16	1,76	2,57	3,81	5,37	6,73	7,87	7,32	5,13	3,25	1,81	1,21	1464,8
EAG	4,38	4,76	5,27	6,35	8,41	10,32	11,70	12,65	10,93	8,57	5,89	4,69	2863,6
Ivanov	**2,5**	**3,6**	**3,4**	**4,3**	**5,0**	**7,1**	**8,5**	**7,8**	**6,5**	**4,5**	**3,2**	**2,5**	1796,4
ChrHar	**1,6**	**2,3**	**3,0**	**4,1**	**5,1**	**6,3**	**7,3**	**6,4**	**4,9**	**3,1**	**1,9**	**1,5**	1448,6
Har Sam O	**1,5**	**2,5**	**3,0**	**4,5**	**5,6**	**7,1**	**7,5**	**6,7**	**5,2**	**3,4**	**2,0**	**1,5**	1539,9

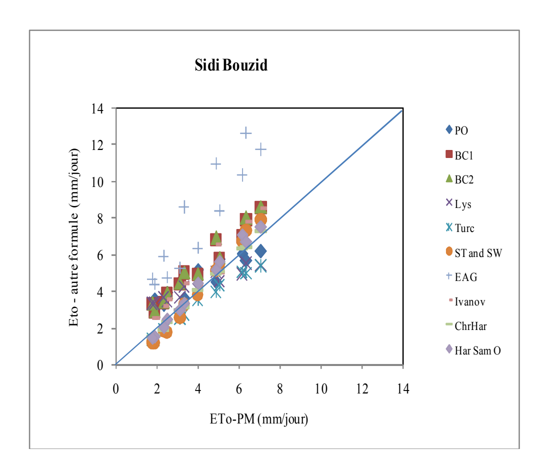


Tableau 2. Coefficients de corrélations entre ET_0 – PM et ET_0 calculée par les autres méthodes empiriques (mm/jour). Sidi Bouzid.

Méthode	r
PO	0,921
BC1	0,980
BC2	0,980
Turc	0,993
ST *and* SW	0,997
EAG	0,922
Ivanov	0,973
Chr Harg	0,999
Harg Sam	0,995

Fig.1. Corrélation entre ET_0-PM et ET_0 calculée par les autres formules empiriques (mm/jour) pour la station de Sidi Bouzid.

Tableau 3. Valeurs de l'ETo (mm/jour) calculées par les différentes méthodes empiriques et leurs variations relatives par rapport à ET_0-PM pour les différents stades phénologiques. Sidi Bouzid.

Sidi Bouzid	**1**	**Moy**		**2**		**Moy**	**3**		**Moy**		**4**		**Moy**		**5**		**Moy**	**Variation annuelle**
	MAR		**AVR**	**MAI**	**JUI**		**JUIT**	**AOU**		**SEP**	**OCT**	**NOV**		**DEC**	**JAN**	**FEV**		
PM	3,2		4,0	5,1	6,2	5,1	7,1	6,4	6,7	4,9	3,3	2,3	3,5	1,8	1,9	2,5	2,1	
PO	4,5		5,2	5,8	6,1	5,7	6,2	5,6	5,9	4,5	3,6	3,3	3,8	3,3	3,6	4,0	3,6	
Δ (%)	**44,0**	**44,0**	**29,4**	**14,5**	**-2,0**	**14,0**	**-13,2**	**-11,4**	**-12,3**	**-8,4**	**8,5**	**39,4**	**13,2**	**84,8**	**86,9**	**58,3**	**76,7**	27.6
BC1	4,4		4,9	5,8	7,0	5,9	8,5	7,9	8,2	6,8	5,0	3,4	5,1	3,3	2,8	3,9	3,3	
BC2	4,4		4,9	5,8	7,1	5,9	8,6	8,0	8,3	6,9	5,1	3,4	5,1	3,3	2,9	3,9	3,4	
Δ (%)	**-40,9**	**-40,9**	**-23,1**	**-15,3**	**-14,3**	**-17,6**	**-21,6**	**-25,5**	**-23,5**	**-40,6**	**-51,2**	**-46,6**	**-46,1**	**-83,8**	**-52,0**	**-57,1**	**-64,3**	-39.3
Turc	2,5		3,5	4,3	5,1	4,3	5,4	5,0	5,2	3,9	2,7	1,9	2,8	1,4	1,3	2,0	1,6	
Δ (%)	**20,5**	**20,5**	**12,9**	**15,1**	**18,3**	**15,4**	**24,5**	**21,8**	**23,2**	**19,9**	**18,4**	**19,5**	**19,3**	**25,2**	**30,7**	**18,5**	**24,8**	20.4
ST *and* SW	2,6		3,8	5,4	6,7	5,3	7,9	7,3	7,6	5,1	3,3	1,8	3,4	1,2	1,2	1,8	1,4	
Δ (%)	**18,3**	**18,3**	**5,2**	**-6,2**	**-8,8**	**-3,2**	**-10,8**	**-14,8**	**-12,8**	**-4,5**	**2,7**	**22,7**	**6,9**	**33,4**	**39,0**	**29,7**	**34,1**	8.8
EAG	5,3		6,4	8,4	10,3	8,4	11,7	12,6	12,2	10,9	8,6	5,9	8,5	4,7	4,4	4,8	4,6	
Δ (%)	**-67,1**	**-67,1**	**-58,1**	**-66,3**	**-66,9**	**-63,7**	**-64,8**	**-98,4**	**-81,6**	**-122,8**	**-156,2**	**-151,7**	**-143,6**	**-158,8**	**-129,9**	**-89,9**	**-126,2**	-102.6
Ivanov	3,4		4,3	5,0	7,1	5,5	8,5	7,8	8,2	6,5	4,5	3,2	4,7	2,5	2,5	3,6	2,9	
Δ (%)	**-9,2**	**-9,2**	**-6,5**	**0,2**	**-14,0**	**-6,7**	**-19,9**	**-22,6**	**-21,3**	**-33,4**	**-33,1**	**-37,2**	**-34,6**	**-39,0**	**-33,2**	**-42,1**	**-38,1**	-24.2
Chr Harg	3,0		4,1	5,1	6,3	5,2	7,3	6,4	6,8	4,9	3,1	1,9	3,3	1,5	1,6	2,3	1,8	
Δ (%)	**5,1**	**5,1**	**-1,4**	**-0,9**	**-2,2**	**-1,5**	**-2,7**	**-0,4**	**-1,5**	**-0,6**	**7,2**	**19,3**	**8,6**	**16,1**	**17,9**	**7,3**	**13,8**	+5.4
Harg Sam O	3,0		4,5	5,6	7,1	5,7	7,5	6,7	7,1	5,2	3,4	2,0	3,5	1,5	1,5	2,5	1,8	
Δ (%)	**5,0**	**5,0**	**-11,4**	**-11,1**	**-14,3**	**-12,3**	**-6,1**	**-5,3**	**-5,7**	**-6,0**	**-0,4**	**13,0**	**2,2**	**18,1**	**19,2**	**0,1**	**12,5**	**+0.1**

- l'ET_0-PM annuelle pour Sidi Bouzid avoisine 1600 mm/an
- Les méthodes qui surestiment ET_0 par rapport à PM sont PO, Turc et Chr Harg
- Celles qui la sous-estiment sont BC, EAG, Ivanov
- Celle qui donne un ordre de grandeur comparable est celle de Harg Sam O.
- La variation maximale est obtenue par la formule d'EAG.
- La variation minimale est obtenue par la formule de Harg Sam.
- La méthode qui donne la plus faible variation relative de l'ET_0 par rapport à PM varie selon le stade phénologique:

Tableau 4. Choix de la méthode de calcul de l'ET_0 pour Sidi Bouzid en fonction du stade phénologique. Méthode donnant la variation minimale de l'ET_0 (mm/jour) par rapport à PM

Stade	Période	Méthode de prédilection
1	Mars	Harg Sam
2	Avril à juin	Chr Harg
3	Juillet-Aout	Chr Harg
4	Sept-Novembre	Harg Sam
5	Déc-Janv-Fév	Harg Sam

Les fonctions de répartition pour les différents stades sont représentées ci-dessous.

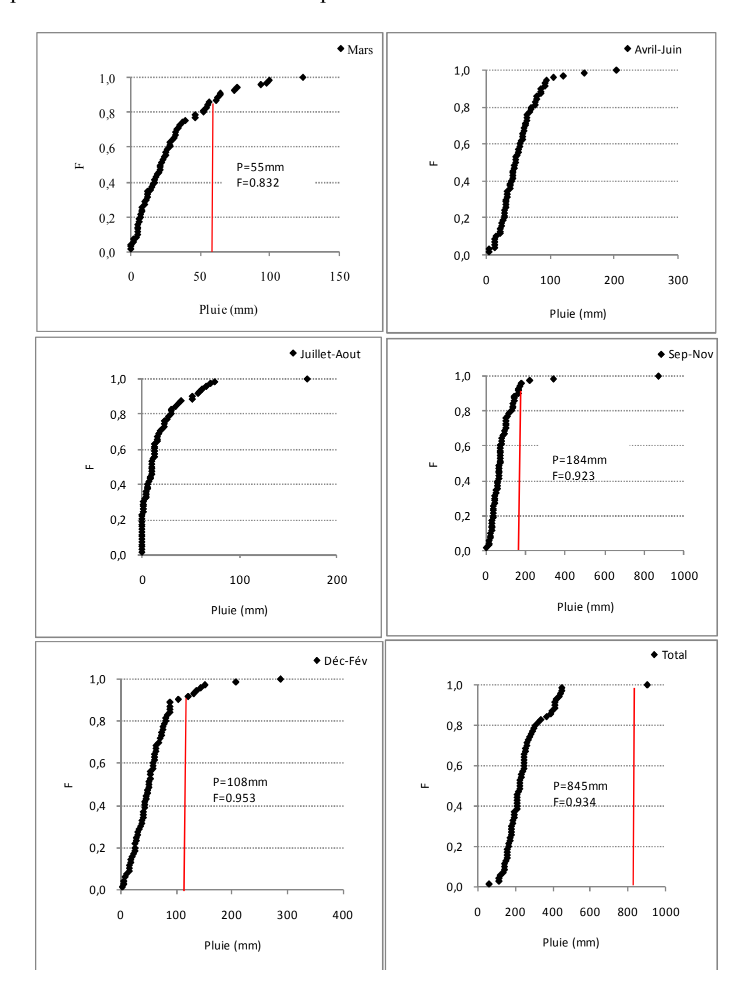


Fig.2. Fonction de répartition de la pluie à la station de Sidi Bouzid à l'échelle annuelle et en rapport avec les stades de développement. Les barres représentent le besoin en eau de l'olivier âgé de plus de 10 ans.

Les fréquences de '*non satisfaction'* des besoins en eau par la pluie selon la période de développement sont portées dans le tableau suivant :

Tableau 5. Besoins en eau de l'olivier (ET_c, mm) selon l'âge et la période de développement (1, 2, 3, 4, 5) et fréquences correspondantes de '*non satisfaction*' (F) des besoins en eau par la pluie reçue au cours de la même période. Sidi-Bouzid

	1		2		3		4		5		Total	
S. Bouzid	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F
1-2ans	21	0,479	99	0,909	88	0,510	69	0,499	41	0,37	317	0,790
3-5ans	27	0,593	132		117	0,68	92	0,666	54	0,56	423	0,930
6-10ans	37	0,732	177		157	0,91	123	0,764	72	0,74	566	0,930
>10 ans	55	0,832	265		234		184	0,923	108	0,953	845	0,934

1: Mars: croissance des pousses et développement des bourgeons. 2: Avril-Juin: floraison et premier stade de développement des olives. 3: Juillet et Aout: développement du fruit. 4: Septembre–Novembre: croissance des pousses et développement des fruits, accumulation des huiles et maturation des olives. 5: Décembrer-Février: Quiescence hivernale.

Lorsque $P_e < ET_c$, les doses d'irrigation à appliquer sont $I = ET_c - P_e$, avec ET_c les valeurs présentées dans le tableau suivant selon la méthode de calcul et P_e la pluviométrie effective mensuelle.

Tableau 6. Paramètres climatiques (P, Pe, ETo, mm), besoins en eau (ET-PM, mm) et besoins en eau d'irrigation pour des oliviers adultes (plus de 10 ans) et jeunes (1 an et 2 ans). Valeurs de l'ETo selon la méthode de calcul. Région de Sidi Bouzid.

Sidi Bouzid	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Pluie (mm)	33,3	35,5	23,4	21,0	20,1	18,3	29,5	22,4	20,1	9,9	6,5	11,9
Pe (mm)	23,3	24,9	16,4	14,7	14,0	12,8	20,6	15,7	14,1	6,9	4,5	8,4
ETo-PM	1,91	2,51	3,15	4,02	5,06	6,18	7,1	6,38	4,91	3,34	2,34	1,81
Pe-ETo	**-36**	**-45**	**-81**	**-106**	**-143**	**-173**	**-199**	**-182**	**-133**	**-97**	**-66**	**-48**
ETc-PM adulte	31	37	51	63	82	97	116	104	77	54	37	29
ETc-PM Jeune	12	15	21	25	33	39	46	42	31	22	15	12
Pe-ETc Adulte	-8	-12	-35	-49	-68	-85	-95	-88	-63	-47	-32	-21
Pe-ETc Jeune	11	10	-4	-11	-19	-26	-26	-26	-17	-15	-10	-3
I (mm) Adulte	**8**	**12**	**35**	**49**	**68**	**85**	**95**	**88**	**63**	**47**	**32**	**21**
I (mm) Jeune	**0**	**0**	**4**	**11**	**19**	**26**	**26**	**26**	**17**	**15**	**10**	**3**
ETo-PO	3,6	4	4,5	5,2	5,8	6,1	6,2	5,6	4,5	3,6	3,3	3,3
ETc adulte	58,6	58,8	73,2	81,9	94,4	96,1	100,9	91,1	70,9	58,6	52,0	53,7
ETc jeune	23,4	23,5	29,3	32,8	37,8	38,4	40,4	36,5	28,4	23,4	20,8	21,5
ETo-BC1	2,8	3,9	4,37	4,9	5,8	7	8,5	7,9	6,8	5	3,4	3,3
ETc adulte	45,6	57,3	71,2	77,2	94,4	110,3	138,3	128,6	107,1	81,4	53,6	53,7
ETc jeune	18,2	22,9	28,5	30,9	37,8	44,1	55,3	51,4	42,8	32,6	21,4	21,5
ETo-BC2	2,9	3,9	4,441	4,9	5,8	7,1	8,6	8	6,9	5,1	3,4	3,3
ETc adulte	47,2	57,3	72,3	77,2	94,4	111,8	140,0	130,2	108,7	83,0	53,6	53,7
ETc jeune	18,9	22,9	28,9	30,9	37,8	44,7	56,0	52,1	43,5	33,2	21,4	21,5
ETo-Turc	1,32	2,04	2,51	3,5	4,29	5,05	5,36	4,98	3,93	2,73	1,88	1,36
ETc adulte	21,5	30,0	40,9	55,1	69,8	79,5	87,2	81,0	61,9	44,4	29,6	22,1
ETc jeune	8,6	12,0	16,3	22,1	27,9	31,8	34,9	32,4	24,8	17,8	11,8	8,9
ETo-ST et SW	1,16	1,76	2,57	3,81	5,37	6,73	7,87	7,32	5,13	3,25	1,81	1,21
ETc adulte	18,9	25,9	41,8	60,0	87,4	106,0	128,1	119,1	80,8	52,9	28,5	19,7
ETc jeune	7,6	10,3	16,7	24,0	35,0	42,4	51,2	47,7	32,3	21,2	11,4	7,9
ETo-EAG	4,38	4,76	5,27	6,35	8,41	10,32	11,7	12,65	10,93	8,57	5,89	4,69
ETc adulte	71,3	70,0	85,8	100,0	136,9	162,5	190,4	205,9	172,1	139,5	92,8	76,3
ETc jeune	28,5	28,0	34,3	40,0	54,7	65,0	76,2	82,4	68,9	55,8	37,1	30,5
ETo-Ivanov	2,5	3,6	3,4	4,3	5	7,1	8,5	7,8	6,5	4,5	3,2	2,5
ETc adulte	40,7	52,9	55,3	67,7	81,4	111,8	138,3	126,9	102,4	73,2	50,4	40,7
ETc jeune	16,3	21,2	22,1	27,1	32,6	44,7	55,3	50,8	41,0	29,3	20,2	16,3
ETo-Chr Harg	1,6	2,3	3	4,1	5,1	6,3	7,3	6,4	4,9	3,1	1,9	1,5
ETc adulte	26,0	33,8	48,8	64,6	83,0	99,2	118,8	104,2	77,2	50,5	29,9	24,4
ETc jeune	10,4	13,5	19,5	25,8	33,2	39,7	47,5	41,7	30,9	20,2	12,0	9,8
ETo-Harg Sam O	1,5	2,5	3	4,5	5,6	7,1	7,5	6,7	5,2	3,4	2	1,5
ETc adulte	24,4	36,8	48,8	70,9	91,1	111,8	122,1	109,0	81,9	55,3	31,5	24,4
ETc jeune	9,8	14,7	19,5	28,4	36,5	44,7	48,8	43,6	32,8	22,1	12,6	9,8

Conclusion 3 (Sidi Bouzid):

Pour la région de Sidi Bouzid, les fonctions de répartition montrent que le déficit hydrique est présent pendant tous les stades de développement. Au mois de mars 83% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie. Durant la période Septembre-Novembre, 92% des besoins ne sont pas satisfaits. Entre Décembre et Février, 95% des besoins ne sont pas satisfaits. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer.

En l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode climatique de la FAO et celle de Penman-monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I) pour la région de Tunis, on utilisera les méthodes présentées pour chacun des stades présentés.

Si on considère la méthode de PM dans le calcul de l'ET_o, on constate que le déficit hydrique est toujours présent et atteint son maximum au mois de juillet. Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation adulte âgée de plus de 10 ans varient de 8 à 95 mm/mois (80 à 950 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1 à 2 ans, les irrigations sont nécessaires à partir de Mars avec une dose maximale de 26 mm/mois (260 m^3/ha/mois). Pour les différents stades, on calculera P_e-ET_c selon la formule de prédilection, c.-à-d., Hargreaves-Samani pour le stade 1,4 et 5 et Christiansen-Hargreaves pour les autres périodes (stades 2 et 3).

3.4. Fiche de la Station de MONASTIR

Tableau 1. Valeurs mensuelles de l'ET_0 (mm/jour) calculées en utilisant différentes formules empiriques. Monastir.

Monastir	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ET_o Annuelle (mm)
PM	2,2	2,7	3,3	4,0	4,9	5,8	6,6	6,2	5,2	4,0	2,9	2,2	1527,1
PO	3,4	3,9	4,5	5,3	5,8	6,2	6,4	5,7	4,7	3,6	3,1	3,1	1695,7
BC1	2,5	3,2	3,4	4,2	4,8	5,9	7,2	6,5	5,4	4,2	3,0	2,5	1611,6
BC2	2,6	3,2	3,5	4,2	4,9	6,0	7,3	6,6	5,4	4,3	3,0	2,6	1633,4
Turc	1,6	2,4	2,7	3,7	4,2	5,0	5,4	4,8	4,1	2,9	2,0	1,5	1224,4
ST and SW	1,4	2,1	2,9	4,0	5,2	6,5	7,7	7,1	5,4	3,6	2,0	1,4	1507,5
EAG	4,8	5,3	5,7	6,7	8,1	10,3	12,2	13,0	11,6	9,7	6,7	5,2	3029,5
Ivanov	2,6	3,2	3,2	3,5	4,0	5,1	5,9	5,9	5,4	4,3	3,5	2,6	1494,9
ChrHar	1,2	1,8	2,4	3,3	4,0	4,9	5,6	5,0	3,9	2,6	1,6	1,2	1139,7
Har Sam O	1,4	2,2	2,6	3,7	4,4	5,3	5,7	5,3	4,2	2,8	1,8	1,3	1240,8

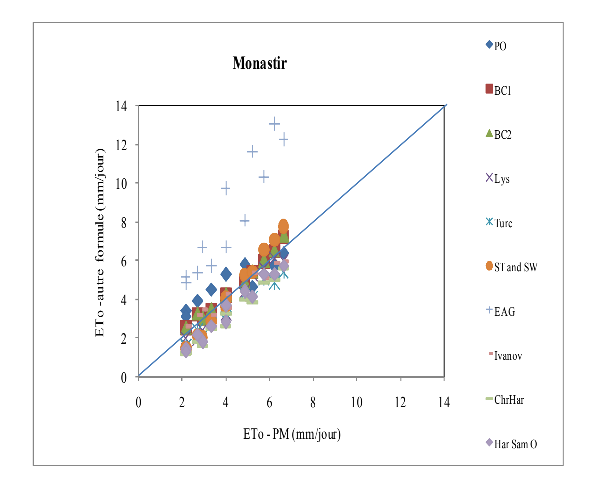


Tableau 2. Coefficients de corrélations entre ET_0 – PM et ET_0 calculée par les autres méthodes empiriques (mm/jour). Monastir.

Méthode	r
PO	0,888
BC1	0,993
BC2	0,993
Turc	0,981
ST *and* SW	0,996
EAG	0,932
Ivanov	0,958
Chr Harg	0,989
Harg Sam	0,983

Fig.1. Corrélation entre ET_0-PM et ET_0 calculée par les autres formules empiriques (mm/jour) pour la station de Monastir.

Tableau 3. Valeurs de l'ETo (mm/jour) calculées par les différentes méthodes empiriques et leurs variations relatives par rapport à ET_0-PM pour les différents stades présentés. Monastir.

Monastir	**1**	**Moy**		**2**		**Moy**	**3**		**Moy**		**4**		**Moy**		**5**		**Moy**	**Variation annuelle**
	MAR		**AVR**	**MAI**	**JUI**		**JUIT**	**AOU**		**SEP**	**OCT**	**NOV**		**DEC**	**JAN**	**FEV**		
PM	3,35		4,02	4,87	5,75	4,9	6,64	6,24	6,4	5,23	4,01	2,94	4,1	2,16	2,18	2,72	2,4	
PO	4,5		5,3	5,8	6,2	5,7	6,4	5,7	6,1	4,7	3,6	3,1	3,8	3,1	3,4	3,9	3,5	
Δ (%)	**34,4**	**34,4**	**31,0**	**19,1**	**7,3**	**19,1**	**-3,5**	**-8,6**	**-6,1**	**-10,6**	**-9,1**	**5,0**	**-4,9**	**43,4**	**56,9**	**45,0**	**48,4**	**17.5**
BC1	3,4		4,2	4,8	5,9	5,0	7,2	6,5	6,8	5,4	4,2	3,0	4,2	2,5	2,5	3,2	2,7	
BC2	3,5		4,2	4,9	6,0	5,0	7,3	6,6	6,9	5,4	4,3	3,0	4,2	2,6	2,6	3,2	2,8	
Δ (%)	**-4,1**	**-4,1**	**-5,4**	**-0,9**	**-4,3**	**-3,5**	**-9,8**	**-5,1**	**-7,5**	**-4,2**	**-6,8**	**-2,8**	**-4,6**	**-19,1**	**-17,0**	**-19,7**	**-18,6**	**-8.3**
Turc	2,70		3,66	4,22	5,02	4,3	5,36	4,83	5,1	4,06	2,90	2,00	3,0	1,52	1,56	2,36	1,8	
Δ (%)	**19,3**	**19,3**	**8,9**	**13,4**	**12,7**	**11,7**	**19,2**	**22,6**	**20,9**	**22,3**	**27,5**	**31,9**	**27,2**	**29,7**	**28,6**	**13,2**	**23,8**	**20.8**
ST *et*SW	2,85		4,03	5,22	6,53	5,3	7,74	7,05	7,4	5,39	3,60	2,01	3,7	1,41	1,44	2,13	1,7	
Δ (%)	**14,8**	**14,8**	**-0,4**	**-7,1**	**-13,5**	**-7,0**	**-16,6**	**-13,0**	**-14,8**	**-3,2**	**10,2**	**31,6**	**12,9**	**34,6**	**33,8**	**21,7**	**30,0**	**7.7**
EAG	5,70		6,69	8,08	10,29	8,4	12,24	13,03	12,6	11,60	9,70	6,69	9,3	5,16	4,84	5,34	5,1	
Δ (%)	**-70,2**	**-70,2**	**-66,7**	**-65,8**	**-78,9**	**-70,4**	**-84,3**	**-108,8**	**-96,6**	**-122,0**	**-141,9**	**-127,8**	**-130,6**	**-139,4**	**-121,9**	**-96,8**	**-119,4**	**-102.0**
Ivanov	**3,2**		**3,5**	**4,0**	**5,1**	4,2	**5,9**	**5,9**	5,9	**5,4**	**4,3**	**3,5**	4,4	**2,6**	**2,6**	**3,2**	2,8	
Δ (%)	**5,4**	**5,4**	**11,6**	**18,7**	**11,8**	**14,0**	**10,9**	**6,2**	**8,6**	**-3,0**	**-7,0**	**-19,4**	**-9,8**	**-21,4**	**-17,8**	**-17,8**	**-19,0**	**-1.8**
Chr Harg	**2,4**		**3,3**	**4,0**	**4,9**	4,0	**5,6**	**5,0**	5,3	**3,9**	**2,6**	**1,6**	2,7	**1,2**	**1,2**	**1,8**	1,4	
Δ (%)	**27,4**	**27,4**	**18,8**	**18,4**	**15,4**	**17,5**	**16,1**	**19,9**	**18,0**	**26,1**	**35,2**	**45,6**	**35,7**	**45,8**	**42,8**	**33,8**	**40,8**	**+28.8**
Harg Sam O	**2,6**		**3,7**	**4,4**	**5,3**	4,5	**5,7**	**5,3**	5,5	**4,2**	**2,8**	**1,8**	2,9	**1,3**	**1,4**	**2,2**	1,7	
Δ (%)	**22,2**	**22,2**	**8,4**	**9,9**	**7,4**	**8,6**	**13,6**	**15,2**	**14,4**	**20,6**	**30,4**	**39,0**	**30,0**	**38,6**	**34,3**	**19,1**	**30,7**	**+21.6**

- Les méthodes qui surestiment ET_0 par rapport à PM sont PO, Turc, ST and SW, Chr Harg et Harg Sam O.
- Celles qui la sous-estiment sont BC et EAG,
- Celles qui donnent un ordre de grandeur comparable sont celles de ST *and* SW, BC et Ivanov.
- La variation maximale est obtenue par la formule d'EAG.
- La variation minimale est obtenue par la formule d'Ivanov.
- La méthode qui donne la plus faible variation relative de l'ET_0 par rapport à PM varie selon le stade phénologique:

Tableau 4. Choix de la méthode de calcul de l'ET_0 pour Monastir en fonction du stade phénologique. Méthode donnant la variation minimale de l'ET_0 (mm/jour) par rapport à PM

Stade	Période	Méthode de prédilection
1	Mars	BC
2	Avril à juin	BC
3	Juillet-Aout	PO
4	Sept-Novembre	BC
5	Déc-Janv-Fév	BC

Les fonctions de répartition pour les différents stades sont représentées ci-dessous.

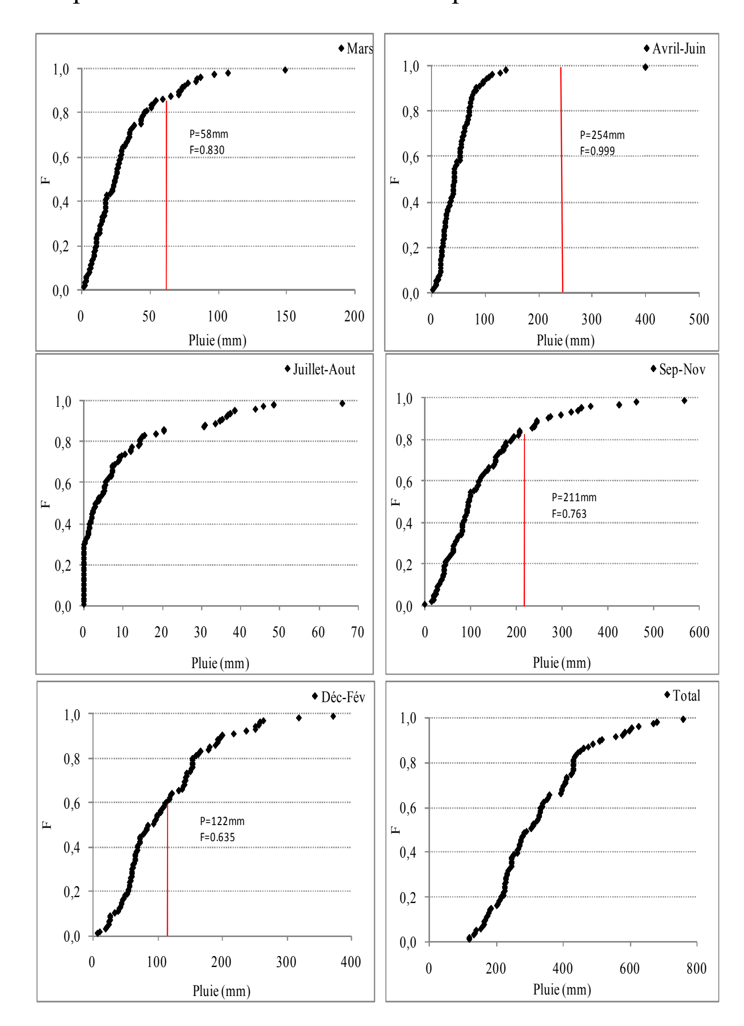


Fig.2. Fonction de répartition de la pluie à la station de Monastir à l'échelle annuelle et en rapport avec les stades de développement. Les barres représentent le besoin en eau de l'olivier âgé de plus de 10 ans.

Les fréquences de '*non satisfaction'* des besoins en eau selon la période de développement sont portées dans le tableau suivant :

Tableau 5. Besoins en eau de l'olivier (ET_c, mm) selon l'âge et la période de développement (1, 2, 3, 4, 5) et fréquences correspondantes de '*non satisfaction*' (F) des besoins en eau par la pluie reçue au cours de la même période. Monastir.

	1		2		3		4		5		Total	
Tunis	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F
1-2ans	22	0,440	95	0,905	84		79	0,353	46	0,15	326	0,541
3-5ans	29	0,590	127	0,958	112		106	0,541	61	0,29	435	0,818
6-10ans	39	0,740	170		150		142	0,673	82	0,471	582	0,924
>10 ans	58	0,836	254		224		211	0,763	122	0,64	870	0,990

1: Mars: croissance des pousses et développement des bourgeons. 2: Avril-Juin: floraison et premier stade de développement des olives. 3: Juillet et Aout: développement du fruit. 4: Septembre–Novembre: croissance des pousses et développement des fruits, accumulation des huiles et maturation des olives. 5: Décembrer-Février: Quiescence hivernale.

Lorsque $P_e < ET_c$, les doses d'irrigation à appliquer sont $I = ET_c - P_e$, avec ET_c les valeurs présentées dans le tableau suivant selon la méthode de calcul et P_e la pluviométrie effective mensuelle.

Tableau 6. Paramètres climatiques (P, P_e, ET_o, mm), besoins en eau (ET_{-PM}, mm) et besoins en eau d'irrigation pour des oliviers adultes (plus de 10 ans) et jeunes (1 an et 2 ans). Valeurs de l'ET_o selon la méthode de calcul. Région de Monastir.

Monastir	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Pluie (mm)	34,8	54,1	40,2	43,6	32,2	29,6	30,9	29,4	16,0	5,9	1,0	10,0
Pe (mm)	24,3	37,9	28,1	30,6	22,5	20,7	21,6	20,6	11,2	4,1	0,7	7,0
ETo-PM	2,2	2,7	3,3	4	4,9	5,8	6,6	6,2	5,2	4	2,9	2,2
Pe-ETo	**-44**	**-38**	**-74**	**-89**	**-129**	**-153**	**-183**	**-172**	**-145**	**-120**	**-86**	**-61**
ETc-PM adulte	36	40	54	63	80	91	107	101	82	65	46	36
ETc-PM Jeune	14	16	21	25	32	37	43	40	33	26	18	14
Pe-ETc Adulte	-11	-2	-26	-32	-57	-71	-86	-80	-71	-61	-45	-29
Pe-ETc Jeune	10	22	7	5	-9	-16	-21	-20	-22	-22	-18	-7
I (mm) Adulte	**11**	**2**	**26**	**32**	**57**	**71**	**86**	**80**	**71**	**61**	**45**	**29**
I (mm) Jeune	**0**	**0**	**0**	**0**	**9**	**16**	**21**	**20**	**22**	**22**	**18**	**7**
ETo-PO	3,4	3,9	4,5	5,3	5,8	6,2	6,4	5,7	4,7	3,6	3,1	3,1
ETc adulte	55,3	57,3	73,2	83,5	94,4	97,7	104,2	92,8	74,0	58,6	48,8	50,5
ETc jeune	22,1	22,9	29,3	33,4	37,8	39,1	41,7	37,1	29,6	23,4	19,5	20,2
ETo-BC1	2,5	3,2	3,4	4,2	4,8	5,9	7,2	6,5	5,4	4,2	3	2,5
ETc adulte	40,7	47,0	55,3	66,2	78,1	92,9	117,2	105,8	85,1	68,4	47,3	40,7
ETc jeune	16,3	18,8	22,1	26,5	31,2	37,2	46,9	42,3	34,0	27,3	18,9	16,3
ETo-BC2	2,6	3,2	3,5	4,2	4,9	6	7,3	6,6	5,4	4,3	3	2,6
ETc adulte	42,3	47,0	57,0	66,2	79,7	94,5	118,8	107,4	85,1	70,0	47,3	42,3
ETc jeune	16,9	18,8	22,8	26,5	31,9	37,8	47,5	43,0	34,0	28,0	18,9	16,9
ETo-Turc	1,6	2,4	2,7	3,7	4,2	5	5,4	4,8	4,1	2,9	2	1,5
ETc adulte	26,0	35,3	43,9	58,3	68,4	78,8	87,9	78,1	64,6	47,2	31,5	24,4
ETc jeune	10,4	14,1	17,6	23,3	27,3	31,5	35,2	31,2	25,8	18,9	12,6	9,8
ETo-ST et SW	1,4	2,1	2,9	4	5,2	6,5	7,7	7,1	5,4	3,6	2	1,4
ETc adulte	22,8	30,9	47,2	63,0	84,6	102,4	125,3	115,6	85,1	58,6	31,5	22,8
ETc jeune	9,1	12,3	18,9	25,2	33,9	41,0	50,1	46,2	34,0	23,4	12,6	9,1
ETo-EAG	4,8	5,3	5,7	6,7	8,1	10,3	12,2	13	11,6	9,7	6,7	5,2
ETc adulte	78,1	77,9	92,8	105,5	131,8	162,2	198,6	211,6	182,7	157,9	105,5	84,6
ETc jeune	31,2	31,2	37,1	42,2	52,7	64,9	79,4	84,6	73,1	63,1	42,2	33,9
ETo-Ivanov	2,6	3,2	3,2	3,5	4	5,1	5,9	5,9	5,4	4,3	3,5	2,6
ETc adulte	42,3	47,0	52,1	55,1	65,1	80,3	96,0	96,0	85,1	70,0	55,1	42,3
ETc jeune	16,9	18,8	20,8	22,1	26,0	32,1	38,4	38,4	34,0	28,0	22,1	16,9
ETo-Chr Harg	1,2	1,8	2,4	3,3	4	4,9	5,6	5	3,9	2,6	1,6	1,2
ETc adulte	19,5	26,5	39,1	52,0	65,1	77,2	91,1	81,4	61,4	42,3	25,2	19,5
ETc jeune	7,8	10,6	15,6	20,8	26,0	30,9	36,5	32,6	24,6	16,9	10,1	7,8
ETo-Harg Sam O	1,4	2,2	2,6	3,7	4,4	5,3	5,7	5,3	4,2	2,8	1,8	1,3
ETc adulte	22,8	32,3	42,3	58,3	71,6	83,5	92,8	86,3	66,2	45,6	28,4	21,2
ETc jeune	9,1	12,9	16,9	23,3	28,6	33,4	37,1	34,5	26,5	18,2	11,3	8,5

Conclusion 4 (Monastir):

Pour la région de Monastir, les fonctions de répartition montrent que le déficit hydrique est présent pendant tous les stades de développement. Au mois de mars 84% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie. Durant la période Septembre-Novembre, 76% des besoins ne sont pas satisfaits. Entre Décembre et Février, 64% des besoins ne sont pas satisfaits. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer.

En l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode climatique de la FAO et celle de Penman-monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I) pour la région de Tunis, on utilisera les méthodes présentées pour chacun des stades présentés.

Si on considère la méthode de PM dans le calcul de l'ET_o, on constate que le déficit hydrique est toujours présent et atteint son maximum au mois de juillet. Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation adulte âgée de plus de 10 ans varient de 2 à 86 mm/mois (20 à 860 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1 à 2 ans, les irrigations sont nécessaires à partir de Juin avec une dose maximale de 22 mm/mois (260 m^3/ha/mois). Pour les différents stades, on calculera P_e-ET_c selon la formule de prédilection, c.-à-d., Blaney-Criddle pour les stades 1, 2, 4 et 5 et Penman-Originale pour le stade 3 (Juillet-Aout).

3.5. Fiche de la Station de BIZERTE

Tableau 1. Valeurs mensuelles de l'ET_0 (mm/jour) calculées en utilisant différentes formules empiriques. Bizerte.

Bizerte	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ET_o Annuelle (mm)
PM	1,6	2,0	2,6	3,4	4,4	5,7	6,5	6,2	4,7	3,1	2,0	1,6	1334,1
PO	3,4	3,9	4,6	5,3	6,1	6,6	6,8	6,1	4,8	3,7	3,2	3,1	1749,4
BC1	2,1	2,7	3,3	4,1	5,5	6,9	8,2	7,7	5,8	4,1	2,8	2,2	1689,9
BC2	2,1	2,7	3,4	4,1	5,6	7,0	8,3	7,8	5,9	4,1	2,9	2,2	1713,4
Turc	1,4	2,0	2,5	3,5	4,4	5,4	5,7	5,3	4,2	2,7	1,9	1,4	1228,1
ST and SW	1,2	1,7	2,6	3,6	5,3	6,9	8,0	7,5	5,3	3,2	1,8	1,2	1475,0
EAG	4,4	4,6	5,1	5,8	7,3	9,4	10,9	11,6	10,3	8,0	6,0	4,8	2691,0
Ivanov	**1,9**	**2,2**	**2,2**	**2,7**	**3,2**	**4,6**	**5,3**	**5,4**	**4,6**	**3,3**	**2,6**	**1,9**	1213,1
ChrHar	**1,3**	**1,8**	**2,6**	**3,7**	**5,0**	**6,4**	**7,4**	**6,7**	**4,7**	**2,8**	**1,7**	**1,2**	1384,0
Har Sam O	**1,3**	**1,9**	**2,4**	**3,4**	**4,5**	**5,5**	**5,8**	**5,3**	**4,2**	**2,7**	**1,7**	**1,2**	1220,3

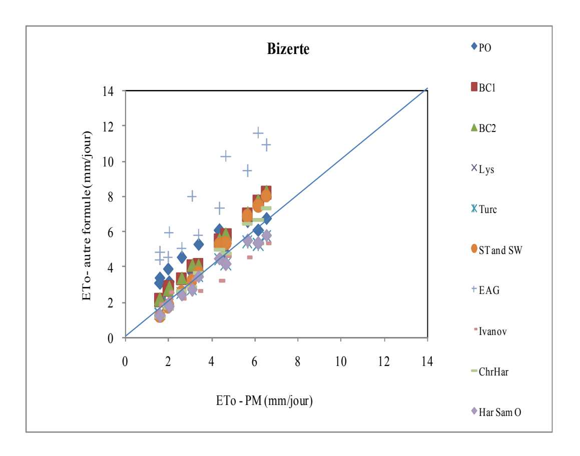


Tableau 2. Coefficients de corrélations entre ET_0 – PM et ET_0 calculée par les autres méthodes empiriques (mm/jour). Bizerte.

Méthode	r
PO	0,918
BC1	0,999
BC2	0,999
Turc	0,988
ST *and* SW	0,999
EAG	0,935
Ivanov	0,961
Chr Harg	0,996
Harg Sam	0,988

Fig.1. Corrélation entre ET_0-PM et ET_0 calculée par les autres formules empiriques (mm/jour) pour la station de Bizerte.

Tableau 3. Valeurs de l'ETo (mm/jour) calculées par les différentes méthodes empiriques et leurs variations relatives par rapport à ET_0-PM pour les différents stades présentés. Bizerte.

Bizerte	**1**	**Moy**		**2**		**Moy**	**3**		**Moy**		**4**		**Moy**		**5**		**Moy**	**Variation annuelle**
	MAR		**AVR**	**MAI**	**JUI**		**JUIT**	**AOU**		**SEP**	**OCT**	**NOV**		**DEC**	**JAN**	**FEV**		
PM	2,6		3,4	4,4	5,7	4,5	6,5	6,2	6,4	4,7	3,1	2,0	3,3	1,6	1,6	2,0	1,7	
PO	4,6		5,3	6,1	6,6	6,0	6,8	6,1	6,4	4,8	3,7	3,2	3,9	3,1	3,4	3,9	3,5	
Δ (%)	**75,5**	**75,5**	**57,6**	**38,7**	**16,2**	**37,5**	**3,4**	**-1,2**	**1,1**	**2,6**	**19,3**	**54,3**	**25,4**	**91,5**	**113,0**	**97,5**	**100,7**	**+47.4**
BC1	3,3		4,1	5,5	6,9	5,5	8,2	7,7	8,0	5,8	4,1	2,8	4,2	2,2	2,1	2,7	2,3	
BC2	3,4		4,1	5,6	7,0	5,6	8,3	7,8	8,1	5,9	4,1	2,9	4,3	2,2	2,1	2,7	2,3	
Δ (%)	**-30,5**	**-30,5**	**-22,8**	**-27,2**	**-24,3**	**-24,8**	**-26,8**	**-26,6**	**-26,7**	**-26,4**	**-32,5**	**-40,3**	**-33,1**	**-36,0**	**-33,5**	**-37,2**	**-35,5**	**-30.3**
Turc	2,5		3,5	4,4	5,4	4,4	5,7	5,3	5,5	4,2	2,7	1,9	2,9	1,4	1,4	2,0	1,6	
Δ (%)	**3,0**	**3,0**	**-2,6**	**-0,4**	**4,2**	**0,4**	**12,5**	**14,7**	**13,6**	**11,0**	**11,5**	**8,7**	**10,4**	**16,5**	**15,0**	**-2,1**	**9,8**	**+7.6**
ST *and* SW	2,6		3,6	5,3	6,9	5,3	8,0	7,5	7,7	5,3	3,2	1,8	3,4	1,2	1,2	1,7	1,4	
Δ (%)	**1,2**	**1,2**	**-8,0**	**-20,1**	**-21,7**	**-16,6**	**-22,5**	**-20,8**	**-21,7**	**-13,9**	**-3,3**	**11,6**	**-1,9**	**25,1**	**24,4**	**12,3**	**20,6**	**-3.0**
EAG	5,1		5,8	7,3	9,4	7,5	10,9	11,6	11,2	10,3	8,0	6,0	8,1	4,8	4,4	4,6	4,6	
Δ (%)	**-95,6**	**-95,6**	**-72,6**	**-67,2**	**-67,2**	**-69,0**	**-66,7**	**-87,9**	**-77,3**	**-120,4**	**-158,0**	**-191,3**	**-156,6**	**-199,4**	**-175,5**	**-131,5**	**-168,8**	**-119.4**
Ivanov	2,2		2,7	3,2	4,6	3,5	5,3	5,4	5,4	4,6	3,3	2,6	3,5	1,9	1,9	2,2	2,0	
Δ (%)	**15,2**	**15,2**	**21,4**	**26,5**	**19,3**	**22,4**	**18,4**	**12,7**	**15,6**	**1,5**	**-6,0**	**-25,3**	**-9,9**	**-20,5**	**-16,3**	**-10,4**	**-15,7**	**+3.0**
Chr Harg	2,6		3,7	5,0	6,4	5,0	7,4	6,7	7,0	4,7	2,8	1,7	3,1	1,2	1,3	1,8	1,4	
Δ (%)	**-1,5**	**-1,5**	**-8,2**	**-13,3**	**-13,9**	**-11,8**	**-12,4**	**-8,8**	**-10,6**	**-1,4**	**8,3**	**17,7**	**8,2**	**25,0**	**19,9**	**7,3**	**17,4**	**+1.6**
Harg Sam O	2,4		3,4	4,5	5,5	4,5	5,8	5,3	5,6	4,2	2,7	1,7	2,9	1,2	1,3	1,9	1,5	
Δ (%)	**6,1**	**6,1**	**-1,9**	**-2,1**	**3,2**	**-0,3**	**11,1**	**13,5**	**12,3**	**10,9**	**13,0**	**14,5**	**12,8**	**23,9**	**20,7**	**1,8**	**15,5**	**+9.6**

- Les méthodes qui surestiment ET_0 par rapport à PM sont PO, Turc et Chr Harg., Harg.Sam.
- Celles qui la sous-estiment sont BC et EAG.
- Celles qui donnent un ordre de grandeur comparable sont celles d'Ivanov, de Chr Harg et de ST *and* SW.
-La variation maximale est obtenue par la formule d'EAG.
-La variation minimale est obtenue par la formule de Chr Harg.
-La méthode qui donne la plus faible variation relative de l'ET_0 par rapport à PM est portée au tableau suivant :

Tableau 4. Choix de la méthode de calcul de l'ET_0 pour Bizerte en fonction du stade phénologique. Méthode donnant la variation minimale de l'ET_0 (mm/jour) par rapport à PM

Stade	Période	Méthode de prédilection
1	Mars	ST *and* SW
2	Avril à juin	Harg Sam
3	Juillet-Aout	PO
4	Sept-Novembre	ST *and* SW
5	Déc-Janv-Fév	Turc

Les fonctions de répartition pour les différents stades sont représentées ci-dessous.

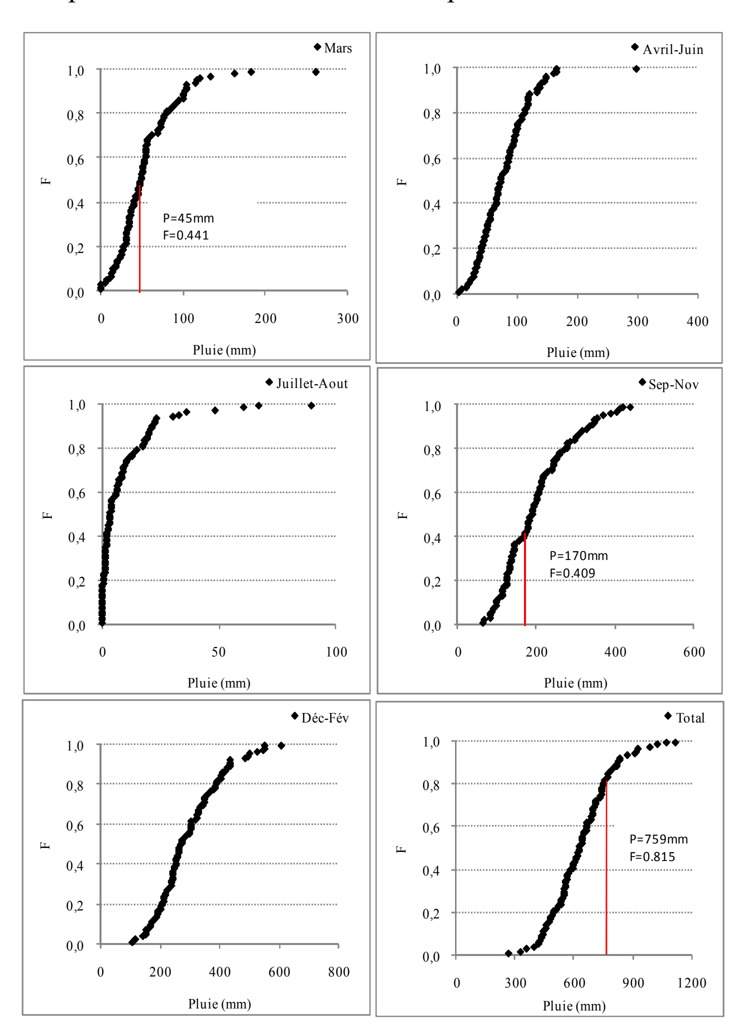


Fig.2. Fonction de répartition de la pluie à la station de Bizerte à l'échelle annuelle et en rapport avec les stades de développement. Les barres représentent le besoin en eau de l'olivier âgé de plus de 10 ans.

Les fréquences de '*non satisfaction'* des besoins en eau selon la période de développement sont portées dans le tableau suivant :

Tableau 5. Besoins en eau de l'olivier (ET_c, mm) selon l'âge et la période de développement (1, 2, 3, 4, 5) et fréquences correspondantes de '*non satisfaction*' (F) des besoins en eau par la pluie reçue au cours de la même période. Bizerte.

	1		2		3		4		5		Total	
Tunis	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F
1-2ans	17	0,101	87	0,611	83	0,917	64	0,009	34		285	0,011
3-5ans	23	0,148	116	0,828	110		85	0,050	45		380	0,038
6-10ans	30	0,216	156	0,945	148		114	0,150	60		508	0,216
>10 ans	45	0,441	233		221		170	0,409	90	0,008	759	0,815

1: Mars: croissance des pousses et développement des bourgeons. 2: Avril-Juin: floraison et premier stade de développement des olives. 3: Juillet et Aout: développement du fruit. 4: Septembre–Novembre: croissance des pousses et développement des fruits, accumulation des huiles et maturation des olives. 5: Décembre-Février: Quiescence hivernale.

Lorsque $P_e < ET_c$, les doses d'irrigation à appliquer sont $I = ET_c – P_e$, avec ET_c les valeurs présentées dans le tableau suivant selon la méthode de calcul et P_e la pluviométrie effective mensuelle.

Tableau 6. Paramètres climatiques (P, P_e, ET_o, mm), besoins en eau (ET-PM, mm) et besoins en eau d'irrigation pour des oliviers adultes (plus de 10 ans) et jeunes (1 an et 2 ans). Valeurs de l'ETo selon la méthode de calcul. Région de Bizerte.

Bizerte	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Pluie (mm)	34,4	80,6	93,4	113,7	107,8	82,5	54,4	45,4	25,4	9,4	2,6	6,4
Pe (mm)	24,1	56,4	65,4	79,6	75,5	57,7	38,1	31,8	17,8	6,6	1,8	4,5
ETo-PM	1,6	2	2,6	3,4	4,4	5,7	6,5	6,2	4,7	3,1	2	1,6
Pe-ETo	**-26**	**0**	**-15**	**-22**	**-61**	**-113**	**-163**	**-160**	**-123**	**-89**	**-58**	**-45**
ETc-PM adulte	26	29	42	54	72	90	106	101	74	50	32	26
ETc-PM Jeune	10	12	17	21	29	36	42	40	30	20	13	10
Pe-ETc Adulte	-2	27	23	26	4	-32	-68	-69	-56	-44	-30	-22
Pe-ETc Jeune	14	45	48	58	47	22	-4	-9	-12	-14	-11	-6
I (mm) Adulte	**2**	**0**	**0**	**0**	**0**	**32**	**68**	**69**	**56**	**44**	**30**	**22**
I (mm) Jeune	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**4**	**9**	**12**	**14**	**11**	**6**
ETo-PO	3,4	3,9	4,6	5,3	6,1	6,6	6,8	6,1	4,8	3,7	3,2	3,1
ETc adulte	55,3	57,3	74,9	83,5	99,3	104,0	110,7	99,3	75,6	60,2	50,4	50,5
ETc jeune	22,1	22,9	29,9	33,4	39,7	41,6	44,3	39,7	30,2	24,1	20,2	20,2
ETo-BC1	2,1	2,7	3,3	4,1	5,5	6,9	8,2	7,7	5,8	4,1	2,8	2,2
ETc adulte	34,2	39,7	53,7	64,6	89,5	108,7	133,5	125,3	91,4	66,7	44,1	35,8
ETc jeune	13,7	15,9	21,5	25,8	35,8	43,5	53,4	50,1	36,5	26,7	17,6	14,3
ETo-BC2	2,1	2,7	3,4	4,1	5,6	7	8,3	7,8	5,9	4,1	2,9	2,2
ETc adulte	34,2	39,7	55,3	64,6	91,1	110,3	135,1	126,9	92,9	66,7	45,7	35,8
ETc jeune	13,7	15,9	22,1	25,8	36,5	44,1	54,0	50,8	37,2	26,7	18,3	14,3
ETo-Turc	1,4	2	2,5	3,5	4,4	5,4	5,7	5,3	4,2	2,7	1,9	1,4
ETc adulte	22,8	29,4	40,7	55,1	71,6	85,1	92,8	86,3	66,2	43,9	29,9	22,8
ETc jeune	9,1	11,8	16,3	22,1	28,6	34,0	37,1	34,5	26,5	17,6	12,0	9,1
ETo-ST et SW	1,2	1,7	2,6	3,6	5,3	6,9	8	7,5	5,3	3,2	1,8	1,2
ETc adulte	19,5	25,0	42,3	56,7	86,3	108,7	130,2	122,1	83,5	52,1	28,4	19,5
ETc jeune	7,8	10,0	16,9	22,7	34,5	43,5	52,1	48,8	33,4	20,8	11,3	7,8
ETo-EAG	4,4	4,6	5,1	5,8	7,3	9,4	10,9	11,6	10,3	8	6	4,8
ETc adulte	71,6	67,6	83,0	91,4	118,8	148,1	177,4	188,8	162,2	130,2	94,5	78,1
ETc jeune	28,6	27,0	33,2	36,5	47,5	59,2	71,0	75,5	64,9	52,1	37,8	31,2
ETo-Ivanov	1,9	2,2	2,2	2,7	3,2	4,6	5,3	5,4	4,6	3,3	2,6	1,9
ETc adulte	30,9	32,3	35,8	42,5	52,1	72,5	86,3	87,9	72,5	53,7	41,0	30,9
ETc jeune	12,4	12,9	14,3	17,0	20,8	29,0	34,5	35,2	29,0	21,5	16,4	12,4
ETo-Chr Harg	1,3	1,8	2,6	3,7	5	6,4	7,4	6,7	4,7	2,8	1,7	1,2
ETc adulte	21,2	26,5	42,3	58,3	81,4	100,8	120,4	109,0	74,0	45,6	26,8	19,5
ETc jeune	8,5	10,6	16,9	23,3	32,6	40,3	48,2	43,6	29,6	18,2	10,7	7,8
ETo-Harg Sam O	1,3	1,9	2,4	3,4	4,5	5,5	5,8	5,3	4,2	2,7	1,7	1,2
ETc adulte	21,2	27,9	39,1	53,6	73,2	86,6	94,4	86,3	66,2	43,9	26,8	19,5
ETc jeune	8,5	11,2	15,6	21,4	29,3	34,7	37,8	34,5	26,5	17,6	10,7	7,8

Conclusion 5 (Bizerte):

Pour la région de Bizerte, les fonctions de répartition montrent que le déficit hydrique est présent pendant tous les stades de développement. Au mois de mars 44% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie. Durant la période Septembre-Novembre, 41% des besoins ne sont pas satisfaits. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer.

En l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode climatique de la FAO et celle de Penman-Monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I) pour la région de Tunis, on utilisera les méthodes présentées pour chacun des stades.

Si on considère la méthode de PM dans le calcul de l'ETo, on constate que le déficit hydrique est présent sauf en février et atteint son maximum au mois de Juillet. Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation adulte âgée de plus de 10 ans varient de 2 à 69 mm/mois (20 à 690 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1 à 2 ans, les irrigations sont nécessaires à partir de Juin avec une dose maximale de 12 mm/mois (120 m^3/ha/mois). Pour les différents stades, on calculera P_e-ET_c selon la formule de prédilection, c.-à-d., ST *and* SW pour les stades 1 et 4, Hargreaves-Samani pour le stade 2, Penman-originale pour le stade 3 et Turc pour le stade 5.

3.6. Fiche de la Station de GABES

Tableau 1 : Valeurs mensuelles de l'ET_0 (mm/jour) calculées pour Gabes selon différentes formules empiriques

Gabes	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ET_0 Annuelle (mm)
PM	2,37	2,89	3,50	4,31	5,11	5,93	6,55	6,27	5,35	4,05	2,98	2,21	1570,1
PO	3,5	4,0	4,7	5,5	6,0	6,4	6,6	6,2	5,0	3,9	3,2	3,2	1769,9
BC1	3,7	4,8	5,0	6,0	6,8	8,3	9,3	9,3	7,8	6,0	4,4	3,9	2293,4
BC2	3,8	4,8	5,1	6,1	6,9	8,4	9,4	9,4	7,9	6,1	4,5	4,0	2324,2
Turc	1,82	2,65	3,12	4,09	4,65	5,42	5,65	5,42	4,53	3,30	2,31	1,81	1363,8
ST and SW	1,75	2,46	3,42	4,68	5,95	7,20	8,18	8,01	6,19	4,24	2,42	1,76	1716,3
EAG	**5,1**	**5,4**	**6,2**	**7,3**	**8,8**	**10,6**	**12,3**	**13,4**	**12,3**	**10,3**	**7,1**	**5,3**	3176,8
Ivanov	**3,1**	**4,1**	**3,8**	**4,0**	**4,4**	**5,2**	**5,7**	**5,8**	**5,8**	**5,0**	**4,2**	**3,0**	1650,1
ChrHar	**2,0**	**2,8**	**3,6**	**4,7**	**5,8**	**6,9**	**7,5**	**7,1**	**5,7**	**3,8**	**2,5**	**1,8**	1651,9
Har Sam O	**1,5**	**2,5**	**2,8**	**3,7**	**4,1**	**4,6**	**4,9**	**4,8**	**4,1**	**3,0**	**2,0**	**1,5**	1206,6

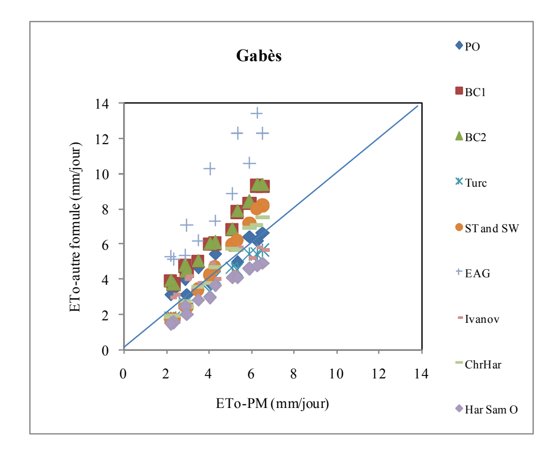


Tableau 2. Coefficients de corrélations entre ET_0 – PM et ET_0 calculée par les autres méthodes empiriques (mm/jour). Gabes.

Méthode	r
PO	0,926
BC1	0,991
BC2	0,991
Turc	0,979
ST *and* SW	0,995
EAG	0,909
Ivanov	0,885
Chr Harg	0,991
Harg Sam	0,970

Fig.1. Corrélation entre ET_0-PM et ET_0 calculée par les [illegible] la station de Gabes.

Tableau 3. Valeurs de l'ETo (mm/jour) calculées par les différentes méthodes empiriques et leurs variations relatives par rapport à ET_0-PM pour les différents stades phénologiques. Gabes.

Gabes	**1**	**Moy**		**2**		**Moy**	**3**		**Moy**		**4**		**Moy**		**5**		**Moy**	**Variation annuelle**
	MAR		**AVR**	**MAI**	**JUI**		**JUIT**	**AOU**		**SEP**	**OCT**	**NOV**		**DEC**	**JAN**	**FEV**		
PM	3,50		4,31	5,11	5,93	5,1	6,55	6,27	6,4	5,35	4,05	2,98	4,1	2,21	2,37	2,89	2,5	
PO	4,7		5,5	6,0	6,4	6,0	6,6	6,2	6,4	5,0	3,9	3,2	4,0	3,2	3,5	4,0	3,5	
Δ (%)	**34,0**	**34,0**	**27,3**	**17,7**	**8,4**	**17,8**	**1,4**	**-1,1**	**0,1**	**-6,4**	**-4,9**	**5,8**	**-1,8**	**43,3**	**46,4**	**38,8**	**42,8**	+17.6
BC1	5,0		6,0	6,8	8,3	7,0	9,3	9,3	9,3	7,8	6,0	4,4	6,1	3,9	3,7	4,8	4,1	
BC2	5,1		6,1	6,9	8,4	7,1	9,4	9,4	9,4	7,9	6,1	4,5	6,2	4,0	3,8	4,8	4,2	
Δ (%)	**-45,0**	**-45,0**	**-41,8**	**-34,5**	**-41,8**	**-39,4**	**-43,3**	**-50,1**	**-46,7**	**-47,9**	**-50,0**	**-50,3**	**-49,4**	**-79,6**	**-58,9**	**-67,4**	**-68,6**	-50.9
Turc	3,12		4,09	4,65	5,42	4,7	5,65	5,42	5,5	4,53	3,30	2,31	3,4	1,81	1,82	2,65	2,1	
Δ (%)	**10,8**	**10,8**	**5,1**	**9,0**	**8,6**	**7,6**	**13,9**	**13,6**	**13,7**	**15,3**	**18,4**	**22,4**	**18,7**	**17,8**	**23,2**	**8,3**	**16,5**	+13.9
ST *and* SW	3,42		4,68	5,95	7,20	5,9	8,18	8,01	8,1	6,19	4,24	2,42	4,3	1,76	1,75	2,46	2,0	
Δ (%)	**2,2**	**2,2**	**-8,7**	**-16,4**	**-21,3**	**-15,5**	**-24,9**	**-27,8**	**-26,3**	**-15,6**	**-4,6**	**18,7**	**-0,5**	**20,2**	**26,2**	**14,8**	**20,4**	-3.1
EAG	6,2		7,3	8,8	10,6	8,9	12,3	13,4	12,9	12,3	10,3	7,1	9,9	5,3	5,1	5,4	5,3	
Δ (%)	**-77,1**	**-77,1**	**-70,4**	**-72,9**	**-78,8**	**-74,1**	**-87,4**	**-114,1**	**-100,7**	**-129,5**	**-153,8**	**-137,2**	**-140,2**	**-142,0**	**-116,5**	**-87,2**	**-115,2**	-105.6
Ivanov	3,8		4,0	4,4	5,2	4,6	5,7	5,8	5,8	5,8	5,0	4,2	5,0	3,0	3,1	4,1	3,4	
Δ (%)	**-9,1**	**-9,1**	**6,0**	**13,3**	**11,5**	**10,2**	**12,9**	**7,1**	**10,0**	**-8,8**	**-22,3**	**-40,6**	**-23,9**	**-36,6**	**-31,5**	**-40,4**	**-36,2**	-11.5
Chr Harg	3,6		4,7	5,8	6,9	5,8	7,5	7,1	7,3	5,7	3,8	2,5	4,0	1,8	2,0	2,8	2,2	
Δ (%)	**-2,0**	**-2,0**	**-9,9**	**-12,5**	**-16,6**	**-13,0**	**-14,8**	**-13,2**	**-14,0**	**-5,9**	**5,4**	**17,2**	**5,5**	**16,2**	**16,4**	**3,2**	**11,9**	**-1.4**
Harg Sam O	2,8		3,7	4,1	4,6	4,1	4,9	4,8	4,9	4,1	3,0	2,0	3,1	1,5	1,5	2,5	1,8	
Δ (%)	**18,9**	**18,9**	**14,7**	**18,9**	**22,1**	**18,6**	**24,8**	**23,8**	**24,3**	**22,5**	**26,7**	**31,4**	**26,9**	**32,6**	**34,9**	**15,1**	**27,6**	+23.9

- Les méthodes qui surestiment ET_0 par rapport à PM sont PO, Turc et Harg Sam.
- Celles qui la sous-estiment sont BC, ST and SW, Ivanov, EAG.
- Celle qui donne un ordre de grandeur comparable est celle de Chr Harg.
- La variation maximale est obtenue par la formule de d'EAG.
- La variation minimale est obtenue par la formule de Chr Harg.
- La méthode qui donne la plus faible variation relative de l'ET_0 par rapport à PM est portée au tableau suivant :

Tableau 4. Choix de la méthode de calcul de l'ET_0 pour Gabes en fonction du stade de développement. Méthode donnant la variation minimale de l'ET_0 (mm/jour) par rapport à PM

Stade	Période	Méthode de prédilection
1	Mars	Chr Harg
2	Avril à juin	Turc
3	Juillet-Aout	PO
4	Sept-Novembre	ST *and* SW
5	Déc-Janv-Fév	Chr Harg

Les fonctions de répartition pour les différents stades sont représentées ci-dessous.

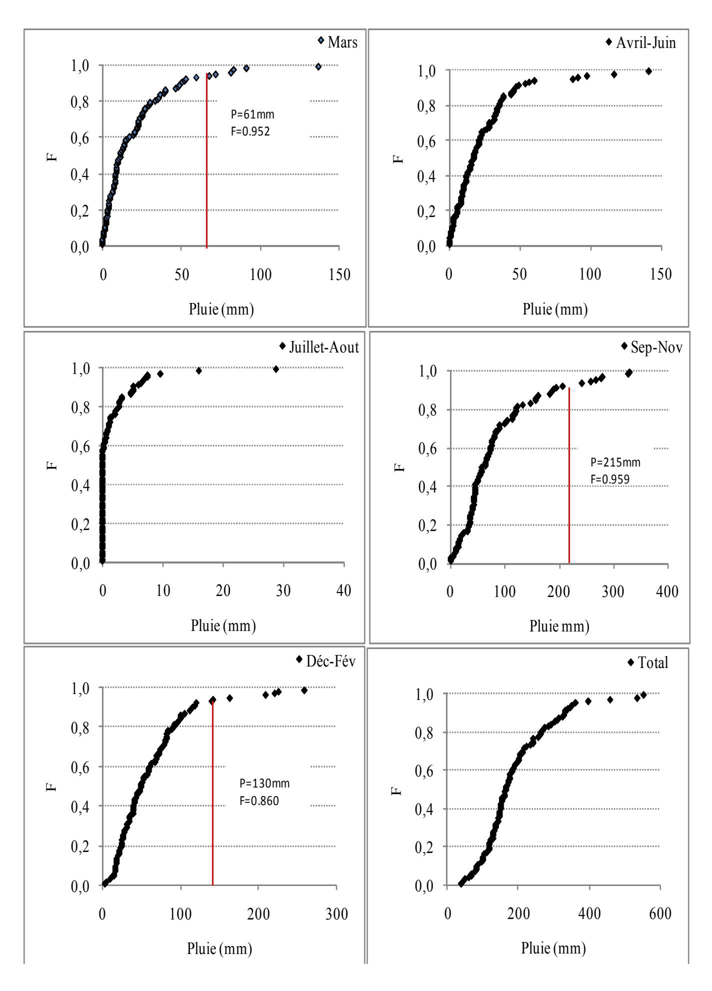


Fig.2. Fonction de répartition de la pluie à la station de Gabes à l'échelle annuelle et en rapport avec les stades de développement. Les barres représentent le besoin en eau de l'olivier âgé de plus de 10 ans.

Les fréquences de '*non satisfaction'* des besoins en eau selon la période de développement sont portées dans le tableau suivant :

Tableau 5. Besoins en eau de l'olivier (ET_c, mm) selon l'âge et la période de développement (1, 2, 3, 4, 5) et fréquences correspondantes de '*non satisfaction*' (F) des besoins en eau par la pluie reçue au cours de la même période. Gabès.

	1		2		3		4		5		Total	
Tunis	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F
1-2ans	23	0,694	100	0,995	83		81	0,653	49	0,496	335	0,916
3-5ans	30	0,782	133	0,929	111		107	0,768	65	0,605	447	0,942
6-10ans	41	0,836	178		149		144	0,814	87	0,780	599	
>10 ans	61	0,952	266		223		215	0,959	130	0,860	894	

1: Mars: croissance des pousses et développement des bourgeons. 2: Avril-Juin: floraison et premier stade de développement des olives. 3: Juillet et Aout: développement du fruit. 4: Septembre–Novembre: croissance des pousses et développement des fruits, accumulation des huiles et maturation des olives. 5: Décembrer-Février: Quiescence hivernale.

Lorsque $P_e < ET_c$, les doses d'irrigation à appliquer sont $I = ET_c – P_e$, avec ET_c les valeurs présentées dans le tableau suivant selon la méthode de calcul et P_e la pluviométrie effective mensuelle.

Tableau 6. Paramètres climatiques (P, P_e, ET_o, mm), besoins en eau (ET-PM, mm) et besoins en eau d'irrigation pour des oliviers adultes (plus de 10 ans) et jeunes (1 an et 2 ans). Valeurs de l'ET_o selon la méthode de calcul. Région de Gabes.

Gabes	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Pluie (mm)	20,3	44,0	25,1	24,9	22,4	17,4	19,3	14,5	7,8	2,1	0,4	1,2
Pe (mm)	14,2	30,8	17,6	17,4	15,7	12,2	13,5	10,2	5,5	1,5	0,3	0,8
ETo-PM	2,37	2,89	3,5	4,31	5,11	5,93	6,55	6,27	5,35	4,05	2,98	2,21
Pe-ETo	**-59**	**-50**	**-91**	**-112**	**-143**	**-166**	**-190**	**-184**	**-155**	**-124**	**-89**	**-68**
ETc-PM adulte	39	42	57	68	83	93	107	102	84	66	47	36
ETc-PM Jeune	15	17	23	27	33	37	43	41	34	26	19	14
Pe-ETc Adulte	-24	-12	-39	-50	-67	-81	-93	-92	-79	-64	-47	-35
Pe-ETc Jeune	-1	14	-5	-10	-18	-25	-29	-31	-28	-25	-19	-14
I (mm) Adulte	**24**	**12**	**39**	**50**	**67**	**81**	**93**	**92**	**79**	**64**	**47**	**35**
I (mm) Jeune	**1**	**0**	**5**	**10**	**18**	**25**	**29**	**31**	**28**	**25**	**19**	**14**
ETo-PO	3,5	4	4,7	5,5	6	6,4	6,6	6,2	5	3,9	3,2	3,2
ETc adulte	57,0	58,8	76,5	86,6	97,7	100,8	107,4	100,9	78,8	63,5	50,4	52,1
ETc jeune	22,8	23,5	30,6	34,7	39,1	40,3	43,0	40,4	31,5	25,4	20,2	20,8
ETo-BC1	3,7	4,8	5	6	6,8	8,3	9,3	9,3	7,8	6	4,4	3,9
ETc adulte	60,2	70,6	81,4	94,5	110,7	130,7	151,4	151,4	122,9	97,7	69,3	63,5
ETc jeune	24,1	28,2	32,6	37,8	44,3	52,3	60,5	60,5	49,1	39,1	27,7	25,4
ETo-BC2	3,8	4,8	5,1	6,1	6,9	8,4	9,4	9,4	7,9	6,1	4,5	4
ETc adulte	61,8	70,6	83,0	96,1	112,3	132,3	153,0	153,0	124,4	99,3	70,9	65,1
ETc jeune	24,7	28,2	33,2	38,4	44,9	52,9	61,2	61,2	49,8	39,7	28,4	26,0
ETo-Turc	1,82	2,65	3,12	4,09	4,65	5,42	5,65	5,42	4,53	3,3	2,31	1,81
ETc adulte	29,6	39,0	50,8	64,4	75,7	85,4	92,0	88,2	71,3	53,7	36,4	29,5
ETc jeune	11,8	15,6	20,3	25,8	30,3	34,1	36,8	35,3	28,5	21,5	14,6	11,8
ETo-ST et SW	1,75	2,46	3,42	4,68	5,95	7,2	8,18	8,01	6,19	4,24	2,42	1,76
ETc adulte	28,5	36,2	55,7	73,7	96,8	113,4	133,1	130,4	97,5	69,0	38,1	28,6
ETc jeune	11,4	14,5	22,3	29,5	38,7	45,4	53,3	52,1	39,0	27,6	15,2	11,5
ETo-EAG	5,1	5,4	6,2	7,3	8,8	10,6	12,3	13,4	12,3	10,3	7,1	5,3
ETc adulte	83,0	79,4	100,9	115,0	143,2	167,0	200,2	218,1	193,7	167,6	111,8	86,3
ETc jeune	33,2	31,8	40,4	46,0	57,3	66,8	80,1	87,2	77,5	67,1	44,7	34,5
ETo-Ivanov	3,1	4,1	3,8	4	4,4	5,2	5,7	5,8	5,8	5	4,2	3
ETc adulte	50,5	60,3	61,8	63,0	71,6	81,9	92,8	94,4	91,4	81,4	66,2	48,8
ETc jeune	20,2	24,1	24,7	25,2	28,6	32,8	37,1	37,8	36,5	32,6	26,5	19,5
ETo-Chr Harg	2	2,8	3,6	4,7	5,8	6,9	7,5	7,1	5,7	3,8	2,5	1,8
ETc adulte	32,6	41,2	58,6	74,0	94,4	108,7	122,1	115,6	89,8	61,8	39,4	29,3
ETc jeune	13,0	16,5	23,4	29,6	37,8	43,5	48,8	46,2	35,9	24,7	15,8	11,7
ETo-Harg Sam O	1,5	2,5	2,8	3,7	4,1	4,6	4,9	4,8	4,1	3	2	1,5
ETc adulte	24,4	36,8	45,6	58,3	66,7	72,5	79,7	78,1	64,6	48,8	31,5	24,4
ETc jeune	9,8	14,7	18,2	23,3	26,7	29,0	31,9	31,2	25,8	19,5	12,6	9,8

Conclusion 6 (Gabes):

Pour la région de Gabes, les fonctions de répartition montrent que le déficit hydrique est présent pendant tous les stades de développement. Au mois de mars 95% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie. Durant la période Septembre-Novembre, 96% des besoins ne sont pas satisfaits. Entre Décembre et Février, 86% des besoins ne sont pas satisfaits. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer.

En l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode climatique de la FAO et celle de Penman-monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I) pour la région de Tunis, on utilisera les méthodes présentées pour chacun des stades présentés.

Si on considère la méthode de PM dans le calcul de l'ETo, on constate que le déficit hydrique est toujours présent et atteint son maximum au mois de juillet. Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation adulte âgée de plus de 10 ans varient de 12 à 93 mm/mois (120 à 930 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1 à 2 ans, les irrigations sont nécessaires à partir de Juin avec une dose maximale de 31 mm/mois (310 m^3/ha/mois). Pour les différents stades, on calculera P_e-ET_c selon la formule de prédilection, c.-à-d., Christiansen-Hargreaves pour lesstades 1 et 5, Turc pour le stade 2, Penman-Originale pour le stade 3 (Juillet-Aout) et ST *and* SW pour le stade 4.

3.7. Fiche de la Station de BEJA

Tableau 1. Valeurs mensuelles de l'ET_0 (mm/jour) calculées en utilisant différentes formules empiriques. Béja.

Béja	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	ET_o Annuelle (mm)
PM	1,19	1,78	2,32	3,28	4,59	5,93	7,01	6,56	4,83	2,94	1,72	1,16	1321,6
PO	3,4	3,9	4,5	5,2	5,8	6,1	6,3	5,7	4,5	3,6	3,1	3,1	1685,8
BC1	2,0	2,6	3,2	4,2	5,6	6,8	8,2	7,8	5,6	3,9	2,8	2,2	1673,5
BC2	2,0	2,6	3,3	4,2	5,7	6,8	8,3	7,9	5,7	4,0	2,9	2,2	1696,9
Turc	1,20	1,82	2,26	3,20	4,08	4,88	5,23	4,86	3,78	2,52	1,73	1,24	1121,4
ST et SW	1,03	1,52	2,23	3,29	4,85	6,22	7,40	6,93	4,79	2,85	1,61	1,07	1336,9
EAG	4,10	4,31	4,81	5,52	7,34	9,50	10,91	11,42	9,95	7,58	5,51	4,40	2602,8
Ivanov	**1,7**	**2,1**	**2,2**	**3,0**	**3,9**	**5,7**	**7,2**	**7,6**	**6,3**	**3,9**	**2,8**	**1,8**	1474,9
ChrHar	**1,0**	**1,6**	**2,3**	**3,3**	**4,4**	**5,7**	**6,5**	**6,1**	**4,1**	**2,5**	**1,5**	**1,0**	1218,6
Har Sam O	**1,4**	**2,1**	**2,7**	**4,0**	**5,5**	**6,8**	**7,3**	**6,7**	**5,1**	**3,1**	**1,9**	**1,3**	1462,7

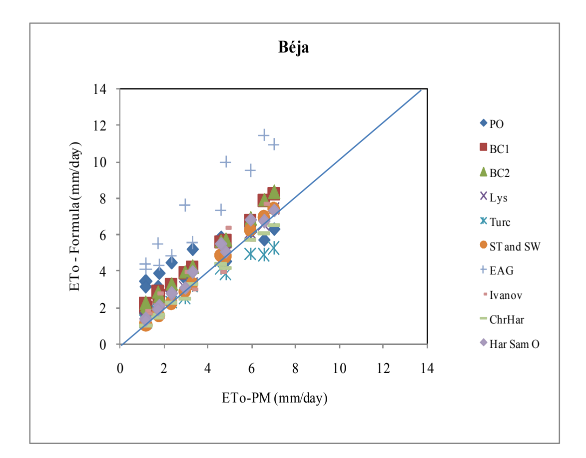


Tableau 2. Coefficients de corrélations entre ET_0 – PM et ET_0 calculée par les autres méthodes empiriques (mm/jour). Béja.

Méthode	r
PO	0,900
BC1	0,997
BC2	0,997
Turc	0,990
ST *and* SW	0,999
EAG	0,949
Ivanov	0,952
Chr Harg	0,996
Harg Sam	0,992

Fig.1. Corrélation entre ET_0-PM et ET_0 calculée par les autres formules empiriques (mm/jour) pour la station de Béja.

Tableau 3. Valeurs de l'ET_o (mm/jour) calculées par les différentes méthodes empiriques et leurs variations relatives par rapport à ET_0-PM pour les différents présentés. Béja.

Béja	1	Moy		2		Moy	3		Moy		4		Moy		5		Moy	Variation annuelle
	MAR		AVR	MAI	JUI		JUIT	AOU		SEP	OCT	NOV		DEC	JAN	FEV		
PM	2,32		3,28	4,59	5,93	4,6	7,01	6,56	6,8	4,83	2,94	1,72	3,2	1,16	1,19	1,78	1,4	
PO	4,5		5,2	5,8	6,1	5,7	6,3	5,7	6,0	4,5	3,6	3,1	3,7	3,1	3,4	3,9	3,5	
Δ (%)	**92,3**	**92,3**	**58,4**	**27,3**	**3,5**	**29,7**	**-10,0**	**-12,5**	**-11,3**	**-6,5**	**21,5**	**82,9**	**32,6**	**171,5**	**186,4**	**118,6**	**158,8**	+61.1
BC1	3,2		4,2	5,6	6,8	5,5	8,2	7,8	8,0	5,6	3,9	2,8	4,1	2,2	2,0	2,6	2,2	
BC2	3,3		4,2	5,7	6,8	5,6	8,3	7,9	8,1	5,7	4,0	2,9	4,2	2,2	2,0	2,6	2,3	
Δ (%)	**-41,6**	**-41,6**	**-28,5**	**-23,5**	**-15,4**	**-22,4**	**-18,7**	**-20,9**	**-19,8**	**-17,7**	**-34,4**	**-66,6**	**-39,5**	**-91,8**	**-67,6**	**-48,8**	**-69,4**	-39.6
Turc	2,26		3,20	4,08	4,88	4,1	5,23	4,86	5,0	3,78	2,52	1,73	2,7	1,24	1,20	1,82	1,4	
Δ (%)	**2,7**	**2,7**	**2,7**	**11,1**	**17,6**	**10,5**	**25,5**	**25,9**	**25,7**	**21,6**	**14,4**	**-0,5**	**11,8**	**-7,0**	**-0,5**	**-2,2**	**-3,2**	+9.3
ST *and* SW	2,23		3,29	4,85	6,22	4,8	7,40	6,93	7,2	4,79	2,85	1,61	3,1	1,07	1,03	1,52	1,2	
Δ (%)	**4,0**	**4,0**	**-0,2**	**-5,8**	**-4,8**	**-3,6**	**-5,5**	**-5,7**	**-5,6**	**0,7**	**3,2**	**6,5**	**3,5**	**7,3**	**13,8**	**14,8**	**12,0**	**+2.4**
EAG	4,81		5,52	7,34	9,50	7,5	10,91	11,42	11,2	9,95	7,58	5,51	7,7	4,40	4,10	4,31	4,3	
Δ (%)	**-106,9**	**-106,9**	**-68,2**	**-60,0**	**-60,2**	**-62,8**	**-55,6**	**-74,2**	**-64,9**	**-106,1**	**-157,9**	**-220,3**	**-161,4**	**-280,0**	**-244,9**	**-142,2**	**-222,4**	-131.4
Ivanov	2,2		3,0	3,9	5,7	4,2	7,2	7,6	7,4	6,3	3,9	2,8	4,3	1,8	1,7	2,1	1,9	
Δ (%)	**3,8**	**3,8**	**9,4**	**14,0**	**4,1**	**9,2**	**-2,9**	**-16,7**	**-9,8**	**-31,0**	**-33,8**	**-61,4**	**-42,1**	**-56,9**	**-39,8**	**-19,6**	**-38,8**	-19.2
Chr Harg	2,3		3,3	4,4	5,7	4,5	6,5	6,1	6,3	4,1	2,5	1,5	2,7	1,0	1,0	1,6	1,2	
Δ (%)	**2,8**	**2,8**	**0,8**	**3,7**	**3,8**	**2,8**	**6,7**	**7,4**	**7,1**	**14,3**	**15,6**	**14,4**	**14,8**	**13,3**	**14,3**	**12,3**	**13,3**	+9.1
Harg Sam O	2,7		4,0	5,5	6,8	5,4	7,3	6,7	7,0	5,1	3,1	1,9	3,4	1,3	1,4	2,1	1,6	
Δ (%)	**-18,1**	**-18,1**	**-21,1**	**-19,3**	**-15,2**	**-18,6**	**-4,5**	**-2,4**	**-3,4**	**-5,0**	**-4,9**	**-12,0**	**-7,3**	**-13,8**	**-14,3**	**-19,9**	**-16,0**	-12.5

- Les méthodes qui surestiment ET_0 par rapport à PM sont PO, Turc et Chr Harg
- Celles qui la sous-estiment sont BC, Ivanov, EAG et Harg Sam O.
- Celles qui donnent un ordre de grandeur comparable sont celles ST and SW
- La variation maximale est obtenue par la formule d'EAG.
- La variation minimale est obtenue par la formule de ST *and* SW
- La méthode qui donne la plus faible variation relative de l'ET_0 par rapport à PM est portée au tableau suivant :

Tableau 4. Choix de la méthode de calcul de l'ET_0 pour Béja en fonction du stade phénologique. Méthode donnant la variation minimale de l'ET_0 (mm/jour) par rapport à PM

Stade	Période	Méthode de prédilection
1	Mars	Turc
2	Avril à juin	Chr Harg
3	Juillet-Aout	Harg Sam
4	Sept-Novembre	ST *and* SW
5	Déc-Janv-Fév	Turc

Les fonctions de répartition pour les différents stades sont représentées ci-dessous.

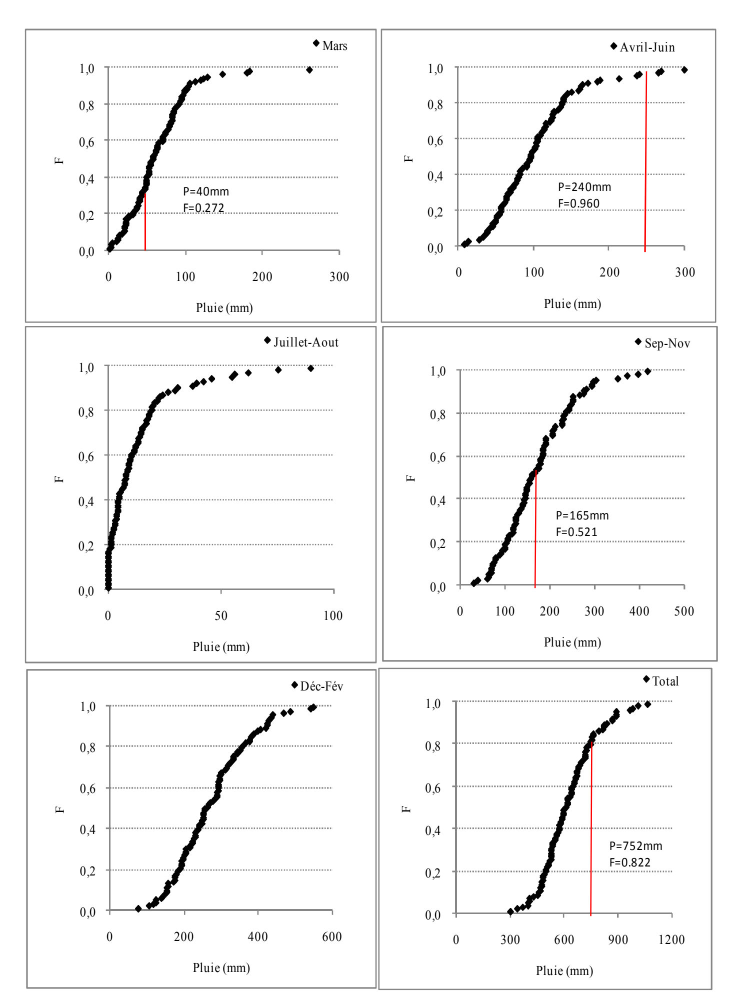


Fig.2. Fonction de répartition de la pluie à la station de Béja à l'échelle annuelle et en rapport avec les stades de développement. Les barres représentent le besoin en eau de l'olivier âgé de plus de 10 ans.

Les fréquences de '*non satisfaction'* des besoins en eau selon la période de développement sont portées dans le tableau suivant :

Tableau 5. Besoins en eau de l'olivier (ET_c, mm) selon l'âge et la période de développement (1, 2, 3, 4, 5) et fréquences correspondantes de '*non satisfaction*' (F) des besoins en eau par la pluie reçue au cours de la même période. Béjà.

	1		2		3		4		5		Total	
Béjà	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F	ET_c	F
1-2ans	15	0,0834	90	0,445	88	0,972	62	0,039	27	0,003	282	0,023
3-5ans	20	0,104	120	0,687	118		82	0,133	36	0,005	376	0,031
6-10ans	27	0,193	160	0,876	158		110	0,228	48	0,006	504	0,218
>10 ans	40	0,272	240	0,960	236		165	0,521	72	0,009	752	0,822

1: Mars: croissance des pousses et développement des bourgeons. 2: Avril-Juin: floraison et premier stade de développement des olives. 3: Juillet et Aout: développement du fruit. 4: Septembre–Novembre: croissance des pousses et développement des fruits, accumulation des huiles et maturation des olives. 5: Décembrer-Février: Quiescence hivernale.

Lorsque $P_e < ET_c$, les doses d'irrigation à appliquer sont $I = ET_c - P_e$, avec ET_c les valeurs présentées dans le tableau suivant selon la méthode de calcul et P_e la pluviométrie effective mensuelle.

Tableau 6. Paramètres climatiques (P, P_e, ET_o, mm), besoins en eau (ET-PM, mm) et besoins en eau d'irrigation pour des oliviers adultes (plus de 10 ans) et jeunes (1 an et 2 ans). Valeurs de l'ET_o selon la méthode de calcul. Région de Béja.

Béja	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIT	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Pluie (mm)	40,8	67,9	70,5	88,4	96,9	80,4	60,6	50,2	31,5	17,0	3,5	9,2
Pe (mm)	28,6	47,5	49,3	61,9	67,8	56,3	42,4	35,1	22,1	11,9	2,4	6,4
ETo-PM	1,19	1,78	2,32	3,28	4,59	5,93	7,01	6,56	4,83	2,94	1,72	1,16
Pe-ETo	**-8**	**-2**	**-23**	**-37**	**-74**	**-122**	**-175**	**-168**	**-123**	**-79**	**-49**	**-30**
ETc-PM adulte	19	26	38	52	75	93	114	107	76	48	27	19
ETc-PM Jeune	8	10	15	21	30	37	46	43	30	19	11	8
Pe-ETc Adulte	9	21	12	10	-7	-37	-72	-72	-54	-36	-25	-12
Pe-ETc Jeune	21	37	34	41	38	19	-3	-8	-8	-7	-8	-1
I (mm) Adulte	**0**	**0**	**0**	**0**	**7**	**37**	**72**	**72**	**54**	**36**	**25**	**12**
I (mm) Jeune	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**3**	**8**	**8**	**7**	**8**	**1**
ETo-PO	3,4	3,9	4,5	5,2	5,8	6,1	6,3	5,7	4,5	3,6	3,1	3,1
ETc adulte	55,3	57,3	73,2	81,9	94,4	96,1	102,5	92,8	70,9	58,6	48,8	50,5
ETc jeune	22,1	22,9	29,3	32,8	37,8	38,4	41,0	37,1	28,4	23,4	19,5	20,2
ETo-BC1	2	2,6	3,2	4,2	5,6	6,8	8,2	7,8	5,6	3,9	2,8	2,2
ETc adulte	32,6	38,2	52,1	66,2	91,1	107,1	133,5	126,9	88,2	63,5	44,1	35,8
ETc jeune	13,0	15,3	20,8	26,5	36,5	42,8	53,4	50,8	35,3	25,4	17,6	14,3
ETo-BC2	2	2,6	3,3	4,2	5,7	6,8	8,3	7,9	5,7	4	2,9	2,2
ETc adulte	32,6	38,2	53,7	66,2	92,8	107,1	135,1	128,6	89,8	65,1	45,7	35,8
ETc jeune	13,0	15,3	21,5	26,5	37,1	42,8	54,0	51,4	35,9	26,0	18,3	14,3
ETo-Turc	1,2	1,82	2,26	3,2	4,08	4,88	5,23	4,86	3,78	2,52	1,73	1,24
ETc adulte	19,5	26,8	36,8	50,4	66,4	76,9	85,1	79,1	59,5	41,0	27,2	20,2
ETc jeune	7,8	10,7	14,7	20,2	26,6	30,7	34,0	31,6	23,8	16,4	10,9	8,1
ETo-ST et SW	1,03	1,52	2,23	3,29	4,85	6,22	7,4	6,93	4,79	2,85	1,61	1,07
ETc adulte	16,8	22,3	36,3	51,8	78,9	98,0	120,4	112,8	75,4	46,4	25,4	17,4
ETc jeune	6,7	8,9	14,5	20,7	31,6	39,2	48,2	45,1	30,2	18,6	10,1	7,0
ETo-EAG	4,1	4,31	4,81	5,52	7,34	9,5	10,91	11,42	9,95	7,58	5,51	4,4
ETc adulte	66,7	63,4	78,3	86,9	119,5	149,6	177,6	185,9	156,7	123,4	86,8	71,6
ETc jeune	26,7	25,3	31,3	34,8	47,8	59,9	71,0	74,3	62,7	49,3	34,7	28,6
ETo-Ivanov	1,7	2,1	2,2	3	3,9	5,7	7,2	7,6	6,3	3,9	2,8	1,8
ETc adulte	27,7	30,9	35,8	47,3	63,5	89,8	117,2	123,7	99,2	63,5	44,1	29,3
ETc jeune	11,1	12,3	14,3	18,9	25,4	35,9	46,9	49,5	39,7	25,4	17,6	11,7
ETo-Chr Harg	1	1,6	2,3	3,3	4,4	5,7	6,5	6,1	4,1	2,5	1,5	1
ETc adulte	16,3	23,5	37,4	52,0	71,6	89,8	105,8	99,3	64,6	40,7	23,6	16,3
ETc jeune	6,5	9,4	15,0	20,8	28,6	35,9	42,3	39,7	25,8	16,3	9,5	6,5
ETo-Harg Sam O	1,4	2,1	2,7	4	5,5	6,8	7,3	6,7	5,1	3,1	1,9	1,3
ETc adulte	22,8	30,9	43,9	63,0	89,5	107,1	118,8	109,0	80,3	50,5	29,9	21,2
ETc jeune	9,1	12,3	17,6	25,2	35,8	42,8	47,5	43,6	32,1	20,2	12,0	8,5

Conclusion 7 (Béja):

Pour la région de Béja, les fonctions de répartition montrent que le déficit hydrique est présent pendant tous les stades de développement. Au mois de mars 27% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie. Durant la période Septembre-Novembre, 52% des besoins ne sont pas satisfaits. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer.

En l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode climatique de la FAO et celle de Penman-monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I) pour la région de Tunis, on utilisera les méthodes présentées pour chacun des stades présentés

Si on considère la méthode de PM dans le calcul de l'ET_o, on constate que le déficit hydrique est toujours présent et atteint son maximum au mois de juillet. Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation adulte âgée de plus de 10 ans varient de 7 à 72 mm/mois (70 à 720 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1 à 2 ans, les irrigations sont nécessaires à partir de Juin avec une dose maximale de 8 mm/mois (80 m^3/ha/mois). Pour les différents stades, on calculera P_e-ET_c selon la formule de prédilection, c-àd., ST *and* SW pour les stades 4, Christiansen Hargreaves pour le stade 2, Hargreaves-Samani pour le stade 3, Turc pour les stades 1 et 5.

Selon les travaux de **Masmoudi-Charfi et al., (2012),** 50% de ces doses suffisent pour entretenir correctement les processus de développement et de production.

Tableaux récapitulatifs

1. Choix de la méthode de calcul d'ET_0 selon la région et le stade.
Régions Côtières du Nord et du Centre.

	Tunis	Nabeul	Monastir	Bizerte
Pluie (mm/an) et écart-type	449,7 mm / 122,4 mm	468,1 mm / 160,4 mm	328,1 mm / 137,8 mm	634,6 mm / 153,3 mm
ET_0-PM (mm/an)	1424	1485	1527	1334
Fréquence de satisfaction des besoins en eau	Mars : 40% Avril-Juin : 1% Juillet-Aout : 0% Sept-Nov : 33% Déc-Fév : 91% Annuel : 1%	Mars : 28% Avril-Juin : 0% Juillet-Aout : 0% Sept-Nov. : 39% Déc-Fév. : 80% Annuel : 14%	Mars : 17% Avril-Juin : 0% Juillet-Aout : 0% Sept-Nov. : 24% Déc-Fév. : 36% Annuel : 0%	Mars : 56% Avril-Juin : 0% Juillet-Aout : 0% Sept-Nov. : 59% Déc.-Fév. : 99% Annuel : 19%
Variation relative de l'ET_0 la plus faible par rapport à Penman-Monteith	Ivanov : + 0,3%	BC : - 4,2%	Ivanov : -1,8%	Chr Harg = + 1,6 %
Formule de calcul adoptée	**Ivanov** $ET_o = 0,0018 \times (T+25)^2 \times (100 - e/e^o\ 100)$	**Blaney-Criddle** $ET_o = (8 + 0.46\ T_{moy}) \times n/N/i$	**Ivanov** $ET_o = 0,0018 \times (T+25)^2 \times (100 - e/e^o\ 100)$	**Christiansen Hargreaves** Originale: $ET_o = 0.492\ R_s \times C_{TT} \times C_{WT} \times C_{HT}$ Modifiée: $ET_o = 0.324\ R_a \times C_{TT} \times C_{WT} \times C_{HT} \times C_{ST} \times C_R$
Variables climatiques utilisées	T, e, e^o	T_{moy}, n, N	T, e, e^o	R_s ou R_a, U_2, T_{moy},, RH_{moy} et E
Choix de la formule en rapport avec le stade phénologique sur la base de la plus faible variation relative	-Stade 1: Chr Harg. -Stade 2: Harg Sam -Stade 3: PO -Stade 4: ST *and* SW -Stade 5: Turc	-Stade 1: BC -Stade 2: ST *and* SW -Stade 3: Chr Harg -Stade 4: BC -Stade 5: BC	-Stade 1: BC -Stade 2: BC -Stade 3: PO -Stade 4: BC -Stade 5: BC	-Stade 1: ST *and* SW -Stade 2: Harg Sam -Stade 3: PO -Stade 4: ST *and* SW -Stade 5: Turc

A l'échelle annuelle et pour les stations de Tunis, Nabeul, Monastir, Sidi Bouzid et Béjà, les formules adaptées utilisent la température, le nombre d'heures d'insolation et Rs. Pour les stations de Bizerte et Gabes les formules utilisées sont beaucoup plus complexes et nécessitent la majorité des paramètres climatiques

-La formule d'Ivanov est la mieux adaptée à Tunis et Monastir, toutes les deux zones côtières mais à microclimat différent.

- Pour Béja la méthode la mieux corrélée à PM est ST *and* SW

-La formule de Chr Harg est la mieux adaptée à Bizerte et Gabes, zones côtières du Nord et du Sud.
-La formule de Blaney Criddle est la mieux adaptée pour Nabeul.

-La formule de Harg Samani est la mieux adaptée à Sidi Bouzid, zone continentale du Centre.

Au niveau des périodes phénologiques : La formule adaptée à l'échelle annuelle n'est pas nécessairement adaptée pour les stades de développement.

-Pour la région de Sidi Bouzid, la méthode de Harg Sam est aussi adaptée aux stades 1, 4 et 5. Pour les deux autres stades on choisira la méthode de Chr Harg qui nécessite plusieurs calculs intermédiaires.

-Pour la région de Gabes, la méthode de Chr Harg est aussi adaptée aux stades 1et 5. Pour les autres stades d'autres formules sont présentées nécessitant plusieurs calculs intermédiaires.

-Pour la région de Béja, la méthode de ST and SW est aussi adaptée au stade 4. Pour les stades 1 et 5 on choisira la méthode de Turc.

-Pour la région de Tunis, la méthode d'Ivanov ne convient à aucune période phénologique. Pour chaque stade une méthode de calcul différente est adoptée. C'est aussi le cas pour Bizerte.

-Pour la région de Nabeul, la méthode de Blaney-Criddle se présente comme la meilleure à l'échelle annuelle et au niveau des périodes 1, 4 et 5.

La méthode de BC convient aux stades 1, 4 et 5 à Nabeul et Sousse-Monastir.

La méthode de Chr Harg est adaptée au stade 1 à Tunis et à Gabes, au stade 2 à Sidi Bouzid et Béja et au stade 3 à Nabeul et Sidi-Bouzid.

La méthode de Turc est adaptée au stade 5 à Tunis, Bizerte, Béjà et Gabes.

Le tableau suivant présente les méthodes de prédilection par stade.

2. Choix de la méthode de calcul d'ET_0 selon la région et le stade. Régions continentales et du Sud.

	Sidi Bouzid	Gabes	Béja
Pluie (mm/an) et écart-type	251,8 mm / 121,4 mm	190,1 mm / 98,7 mm	628,9 mm / 154,8 mm
ET_0-PM (mm/an)	1485	1570	1322
Fréquence de satisfaction des BE	Mars : 17% Avril-Juin : 0% Juillet-Aout : 0% Sept-Nov : 8% Déc-Fév : 5% Annuel : 7%	Mars : 5% Avril-Juin : 0% Juillet-Aout : 0% Sept-Nov : 4% Déc-Fév : 14% Annuel : 7%	Mars : 73% Avril-Juin : 4% Juillet-Aout : 0% Sept-Nov : 48% Déc-Fév : 99% Annuel : 18%
Variation relative de l'ET_0 la plus faible par rapport à PM	Harg Sam O. : +12,5%	Chr Harg : -1,4%	ST *and* SW : +2,4%
Formule de calcul adoptée	**Hargreaves Samani** Originale : $ET_o = 0{,}0023\ R_a\ TD^{0,5} x\ (T_m + 17{,}8)$ Modifiée: $ET_o = 0{,}0035\ R_a\ TD^{0,5} x\ (T_m + 12{,}54)$	**Christiansen Hargreaves** Originale : $ET_o = 0.492\ R_s \times C_{TT} \times C_{WT} \times C_{HT}$ Modifiée: $ET_o = 0.324\ R_a \times C_{TT} \times C_{WT} \times C_{HT} \times C_{ST} \times C_R$	**ST *and* SW** $ET_o = (0.014\ T_{moy} - 0.37) \times R_s / 1500 / 0.039$ avec $R_s = (0.25 + 0.5\ n/N) \times R_a$
Variables climatiques utilisées	T_{moy}, R_a, T_{max}, T_{min}, R_a	R_s ou R_a, U_2, T_{moy}, RH_{moy} et E	T_{moy}, R_a, n, N
Choix de la formule en rapport avec le stade sur la base de la plus faible variation relative	-Stade 1: Harg Sam -Stade 2: Chr Harg -Stade 3: Chr Harg -Stade 4: Harg Sam -Stade 5: Harg Sam	-Stade 1: Chr Harg -Stade 2: Turc -Stade 3: PO -Stade 4: ST *and* SW -Stade 5: Chr Harg	-Stade 1: Turc -Stade 2: Chr Harg -Stade 3: Harg Sam -Stade 4: ST *and* SW -Stade 5: Turc

3. Choix de la méthode de calcul d'ET_0 selon le stade phénologique

Stade	Stations	Méthode appropriée
	Tunis	
1	Gabes	Chr-Harg
	Nabeul	
	Sousse	BC
	Bizerte	
	Sidi Bouzid	
	Béja	Autres méthodes
	Tunis	
2	Bizerte	Harg Sam
	Sidi Bouzid	
	Béja	Chr-Harg
	Nabeul	
	Sousse	
	Gabes	Autre méthode
	Tunis	
	Bizerte	
	Sousse	
3	Gabes	PO
	Nabeul	
	Sidi Bouzid	Chr Harg
	Béja	Autre méthode
	Tunis	
	Bizerte	
	Béja	
4	Gabes	ST *et* SW
	Nabeul	
	Sousse	BC
	Sidi Bouzid	Autre méthode
	Nabeul	
5	Sousse	BC
	Tunis	
	Bizerte	
	Béja	
	Gabes	Turc
	Sidi Bouzid	Autre méthode

4. Discussion

La pluviométrie est sujette à une grande variabilité dans l'espace et dans le temps. Pour les régions du Nord : Tunis, Nabeul, Béjà et Bizerte la variation la plus importante de la pluie mensuelle est observée entre Décembre et Janvier et au mois d'Octobre pour Gabes et Sidi Bouzid, toutes les deux appartenant à l'étage bioclimatique aride (IA<0.15). Les fonctions de répartitions de la pluie établies pour toutes ces régions en rapport avec les périodes de croissance de l'olivier ont montré que le déficit hydrique est présent partout et pour toutes les périodes de croissance de l'olivier même pendant le stade 5 (Décembre-Janvier-Février) avec un maximum atteint au mois de Juillet. Cependant avec une ampleur différente selon la zone de culture. Pour tous ces sites, l'évapotranspiration de référence (ET_0) a été estimée par différentes méthodes de calcul, dont la performance a été comparée à la
méthode universelle de la FAO-Penman Monteith (ET_0-PM), en vue d'une meilleure adaptation de ces formules à l'environnement existant lorsque les données climatiques sont manquantes ne permettant pas l'estimation de l'ET_0-PM.

Les résultats présentés ont montré que Mise à part la formule d'EAG, qui est la moins performante toutes les méthodes étudiées présentent des corrélations hautement significatives avec la méthode universelle de la FAO (r > 0.88), donnant ainsi des alternatives pour l'estimation de la demande climatique en substitution à PM. Il apparait également que la meilleure méthode d'estimation de ET_0 à l'échelle annuelle n'est pas nécessairement la plus performante à l'échelle des périodes de croissance et inversement. Ce qui montre qu'il n'existe pas une formule de base applicable pour toutes les situations et qui permet de prévoir avec précision ET_0 au vu des simplifications opérées et des calculs intermédiaires effectués même en utilisant l'équation de Penman-Monteith, qui est adaptée aussi bien pour des estimations journalières **(Cai et al., 2007)** qu'horaires de l'ET_0 **(Allen et al., 2006 ; Gavilán et al., 2007)**. A cette effet, **Gong et al., (2006)** ont indiqué que cette méthode est sensible aux variations de la radiation solaire et l'humidité relative ce qui se traduit par des valeurs de ET_0-PM moins précises et parfois des erreurs liées aux estimations de certains paramètres comme le rayonnement de courte et de longue longueurs d'ondes (**Allen et al., 2002)**. Récemment, **Allen et al., (2011)** ont publié un article dans lequel ils présentent les facteurs de variations de l'ET_0 qui engendrent ces imprécisions. De leur côté, **Popova et al., (2006)** ont validé la méthodologie de la FAO pour l'estimation de l'ET_0 avec des données climatiques manquantes, permettant une détermination plus précise des besoins en eau d'irrigation, qui devra se faire plutôt en se basant sur le calcul de l'évapotranspiration réelle / maximale de la culture (ETR ou ETM) **(Doorenbos et Pruitt 1974 ; Ben Mansour et Korichi, 2013)** et la pluie effective (P_e) qui est la quantité d'eau retenue au niveau de la zone des racines, donc utilisable par la plante, telle que : $ETM = K_c \times ET_o$. Dans ce cas, l'irrigation est préconisée lorsque l'ETM est supérieure à P_e. Dans ce qui suit nous résumons les résultats relatifs à chaque site d'étude. En l'absence de séries climatiques complètes permettant l'estimation de l'ET_0-PM, les méthodes de prédilection sont présentées pour chaque période phénologique. A cet effet, indiquent que la programmation de l'irrigation doit se faire :

+ Pour la région de Tunis, l'irrigation est nécessaire entre avril et décembre pour les oliviers adultes et entre juillet et novembre pour les jeunes plantations. Les résultats montrent qu'au mois de mars 60% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie contre 67% pour la période allant de Septembre à Novembre et 10% entre Décembre et Février. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer. Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation adulte âgée de plus de 10 ans varient de 3 à 83 mm/mois (30 à 830 m^3/ha/mois), alors que pour une jeune plantation de 1 à 2 ans, les irrigations sont nécessaires à partir de Juin avec un besoin maximal de 15 mm/mois (150 m^3/ha/mois). D'autre part, les résultats ont montré qu'en l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode de Penman-monteith pour calculer l'ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I), on peut calculer P_e-ET_c en utilisant la formule de prédilection, c.-à-d., Christiansen-Hargreaves pour Mars (1), Hargreaves-Samani pour Avril-Juin (2), Penman-originale pour Juillet-Aout (3), ST *and* SW pour Septembre-Novembre (4) et Turc pour Décembre-Février (5). A l'échelle annuelle, la méthode d'Ivanov donne le plus faible écart (+0.3%) par rapport à PM.

+ *Pour la région de Nabeul,* l'irrigation est nécessaire entre avril et décembre pour les plantations adultes de plus de 10 ans avec des quantités allant de 5 à 78 mm/mois (50 à 780 m^3/ha/mois), et de juillet à novembre pour les oliveraies de 1an et 2 ans, avec un apport maximal de 20 mm/mois (200 m^3/ha/mois). En effet, les fonctions de répartition montrent qu'au mois de mars 72% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie, contre 61% durant la période Septembre-Novembre, et 20% entre Décembre et Février. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer. Pour les différents stades, et en l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode de Penman-Monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I), on peut calculer P_e-ET_c en adoptant la méthode de Blaney-Criddle pour les stades 1, 4 et 5, ST *and* SW pour le stade 2 (Avril-Juin) et Christiansen-Hargreaves pour le stade 3 (Juillet-Aout). La méthode de BC donne le plus faible écart (-4.2%) par rapport à PM à l'échelle annuelle.

+ Pour la région de Sidi Bouzid, la saison d'irrigation est beaucoup plus étalée, elle s'étend de février à décembre pour les oliviers adultes et d'avril à octobre pour les plus jeunes. Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation adulte âgée de plus de 10 ans varient de 8 à 95 mm/mois (80 à 950 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1 à 2 ans, le besoin maximal est de 26 mm/mois (260 m^3/ha/mois). Les résultats montrent qu'au mois de mars 83% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie, contre 92% durant la période Septembre-Novembre, et 95% entre Décembre et Février. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer. D'autre part, il apparait qu'en l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode de Penman-monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I), on peut utiliser les formules de Hargreaves-Samani pour le stade 1,4 et 5 et Christiansen-Hargreaves pour les autres

périodes (stades 2 et 3). A l'échelle de l'année la méthode de Harg Sam O., donne le plus faible écart (+0.1%) par rapport à PM.

+ *Pour la région de Monastir*, l'irrigation est nécessaire entre mars et décembre pour les oliveraies adultes et de juin à novembre pour les plus jeunes. Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation âgée de plus de 10 ans varient de 2 à 86 mm/mois (20 à 860 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1an et 2 ans, le besoin maximal est de 22 mm/mois (260 m^3/ha/mois). Les fonctions de répartition montrent qu'au mois de mars 84% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie. Durant la période Septembre-Novembre, 76% des besoins ne sont pas satisfaits. Entre Décembre et Février, 64% des besoins ne sont pas satisfaits. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer. D'un autre côté, les résultats montrent qu'en l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode de Penman-Monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I), on peut utiliser pour les différents stades, la formule de Blaney-Criddle pour les stades 1, 2, 4 et 5 et Penman-Originale pour le stade 3 (Juillet-Aout) mais qui est en fait très apparentée à PM.

+ *Pour la région de Bizerte*, la période d'irrigation est assez courte puisque les apports d'eau d'irrigation sont nécessaires entre juillet et décembre pour les oliviers adultes et entre septembre et novembre pour les jeunes plantations. Les résultats montrent qu'au mois de mars 44% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie, contre 41% durant la période Septembre-Novembre et 100% d'insatisfaction pour toutes les autres périodes (Avril-Aout). Les quantités d'eau nécessaires pour une plantation âgée de plus de 10 ans varient de 2 à 69 mm/mois (20 à 690 m^3/ha/mois) alors que pour une jeune plantation de 1an à 2 ans, les irrigations sont nécessaires en automne avec un besoin maximal de 12 mm/mois (120 m^3/ha/mois). D'autre part, il apparait qu'en l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode de Penman-Monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I), on peut utiliser pour les différentes périodes phénologiques la formule de prédilection, c.-à-d., ST *and* SW pour les stades 1 et 4, Hargreaves-Samani pour le stade 2, Penman-originale pour le stade 3 et Turc pour le stade 5. A l'échelle de l'année, la méthode de Chr Harg donne le plus faible écart (+1.6%) par rapport à PM.

+ *Pour la région de Gabes* la saison d'irrigation est beaucoup plus étalée puisque les apports d'eau sont nécessaires toute l'année pour les plantations adultes et entre avril et décembre pour les plus jeunes. Les quantités d'eau nécessaires pour une oliveraie âgée de plus de 10 ans varient de 12 à 93 mm/mois (120 à 930 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1an et 2 ans, les irrigations sont nécessaires à partir de Juin avec un besoin maximal de 31 mm/mois (310 m^3/ha/mois). Les fonctions de répartition montrent que durant les mois de mars et la période Septembre-Novembre 95-96% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie, contre 86% entre Décembre et Février. Pour toutes les autres périodes (Avril-Aout), 100% des besoins sont insatisfaits d'où le besoin d'irriguer. Par ailleurs, les résultats ont montré qu'en l'absence de séries de

données complètes permettant l'utilisation de la méthode de Penman-monteith pour calculer ET_o et pour déterminer les besoins en eau d'irrigation (I), on peut utiliser pour les différents stades, la formule de Christiansen-Hargreaves pour les stades 1 et 5, Turc pour le stade 2, Penman-Originale pour le stade 3 (Juillet-Aout) et ST *and* SW pour le stade 4. A l'échelle de l'année, la méthode de Chr Harg donne le plus faible écart (-1.4%) par rapport à PM.

+ *Pour la région de Béja,* l'irrigation est nécessaire entre Juillet et Décembre pour les plantations adultes et entre aout et novembre pour les jeunes oliveraies. Les quantités d'eau nécessaires pour des oliviers âgés de plus de 10 ans varient de 7 à 72 mm/mois (70 à 720 m^3/ha/mois). Pour une jeune plantation de 1an et de 2 ans, le besoin maximal est de 8 mm/mois (80 m^3/ha/mois). Les fonctions de répartition montrent qu'au mois de mars 27% des besoins en eau de la culture ne sont pas satisfaits par la pluie, contre 52% durant la période Septembre-Novembre, et 100% pour toutes les autres périodes (Avril-Aout) d'où le besoin d'irriguer. Par ailleurs il apparait, qu'en l'absence de séries de données complètes permettant l'utilisation de la méthode de Penman-Monteith pour calculer ET_o et déterminer les besoins en eau d'irrigation (I), on peut utiliser pour les différents stades, la formule de prédilection, c.-à-d., ST *and* SW pour les stades 4, Christiansen Hargreaves pour le stade 2, Hargreaves-Samani pour le stade 3, Turc pour les stades 1 et 5. A l'échelle annuelle, la méthode de ST *and* SW donne le plus faible écart (+2.4%) par rapport à PM.

Conclusion

Ces résultats constituent un outil d'aide à la décision quant à l'application de l'irrigation dans les oliveraies intensives en particulier. Les quantités d'eau nécessaires sont présentées à titre indicatif. De même, il apparait qu'en dehors de l'étude publiée par **Nasr (2002),** ce travail -à notre connaissance- le seul qui estime ET_0 pour toutes les régions de culture de l'olivier, comparé à PM et qui donne des alternatives pour le calcul de l'ET_0 lorsque les données climatiques sont incomplètes, ne permettant pas l'application de l'équation de PM. Toutefois, cette étude devra être complétée par une analyse complémentaire utilisant des calibrations de certains paramètres climatiques manquants, en l'occurrence la radiation comme suggéré par **Allen (1996)** et **Allen et al., (2011)**. Une recherche complémentaire est aussi nécessaire concernant le coefficient cultural K_c.

Références Bibliographiques

Alkaeed, O., Flores, C., Jinno, K., Tsutsumi, A., 2006. Comparison of Several Reference Evapotranspiration Methods for Itoshima Peninsula Area, Fukuoka, Japan. Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol. 66, Vngsas, Fukuoka, 1-14.

Allen, R.G., 1996. Assessing Integrity of Weather Data for Reference Evapotranspiration. Estimation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 122, 97-106.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration, Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, 300.

Allen, R.G., 2002. Software for Missing Data Error Analysis of Penman-Monteith Reference Evapotranspiration. Irrigation Science, 21, 57-67.

Allen R.G., Pruitt W.O., Wright J.L., Howell T.A., Ventura F., Snyder R., Itenfisu D., Steduto P., Berengena J., Baselga J., Smith M., Pereira L.S., Raes D., Perrier A., Alves I., Walter I. Elliott R., 2006: A Recommendation on Standardized Surface Resistance for Hourly Calculation of Reference ET_o by the FAO56 PM-Method. Agricultural Water Management, 81, 1-22.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E., 2011. Evapotranspiration Information Reporting: I. Factors Governing Measurement Accuracy. Agricultural Water Management, 98, 899-920.

Annandale J.G., Jovanovic N.Z., Benadé N., Bchir A., Boussadia O., Lemeur R., Braham M., 2013. Water Use In Olive Orchards Estimated by Physiologic and Climatic Methods in Tunisia. European Scientific Journal, 9.

Bayoudh C., 2016. قطاع الزيتون و زيت الزيتون Journée d'information. 8-12-2015. Bouchrik. Nabeul.

Bonachela, S., Orgaz, F., Villalobos, F., Fereres, J.E., 1999. Measurement and Simulation of Evaporation from Soil in Olive Orchards. Irrigation Science, 18, 205-211.

Braham, M., Boussadia, O., 2013. Annual Report of the National Institute of Olive Tree.

Ben Mansour S., Korichi A. 2013. Etude de l'évapotranspiration réelle liée à l'évapotranspiration potentielle et à la production agricole phoenicicole à l'échelle de l'écosystème de l'ITAS. Mise au point d'un modèle basé sur la consommation de l'eau et la production agricole. Projet de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique. Université Kasdi Merbah, Ouargla. 97 pages.

Cai, J.B., Liu, Y., Lei, T.W., Pereira, L.S., 2007. Estimating Reference Evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith Equation Using Daily Weather Forecast Messages. Agricultural and Forest Meteorology, 145, 22-35.

Chehab, H., 2007. Etude écophysiologique, agronomique, de production et relation source-puits chez l'Olivier de table en rapport avec les besoins en eau. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Institut National Agronomique de Tunisie, Tunis.

Chehab, H., Mechri, B., Benmariem, F., Hammami, M., Ben Hadj, S., Braham, M., 2009. Effect of Different Irrigation Regimes on Carbohydrate Partitioning in Leaves and Wood of Two Table Olive Cultivars (Olea europaea L. cv. Meski and Picholine). Agricultural Water Management, 96, 293-298.

C.O.I. (1997) Encyclopédie Mondiale de l'Olivier. Conseil oléicole international, Madrid, 479 p.

Cohen, Y., 1991. Determination of Orchard Water Requirement by a Combined Trunk Sap Flow and Meteorology Approach. Irrigation Science, 12, 93-98.

Dabbou, S., Chehab, H., Brahmi F., Esposto S., Elvaggini, R., Tatitcchi, A., Servili, M., Montedoro, G.F., Hammami, M., 2010. Effect of Three Irrigation Regimes on Arbequina Olive Oil Produced under Tunisian Growing Conditions. Agricultural Water Management, 97, 763-768.

David, R.M., 2011. The Transition of the Blaney-Criddle Formula to the Penman-Monteith Equation in the Western United States. Journal of Service Climatology, 5, 1-11.

Denden, M., Lemeur, R., 1999. Mesure de la transpiration par le modèle de Penman-Monteith. Sécheresse, 10, 39-44.

Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1974. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome, 179 p.

Djikou S., M., 2006. Calcul de l'ETP PENMAN-MONTEITH à différents pas de temps sur quatre sites du Haut Bassin de l'Ouémé. Mémoire publiée dans le Cadre du Projet AMMA. IRD. 35 pages.

Droogers, P., Allen, R.G., 2002. Estimating Reference Evapotranspiration under Inaccurate Data Conditions. Irrigation and Drainage Systems, 16, 33-45.

Er-raki, S., Chehbouni, G., Guemouria, N., Ezzahar, J., Duchemin, B., Boulet, G., Hadria, R., Lakhal, A., Chehbouni, A., Rodriguez, J.C., 2004. Measurement of Evapotranspiration and Development Of Crop Coefficients of Olive (Olea europaea L.) Orchards in Semi Arid Region (Marrakech, Morocco). Projet INCO-WADEMED Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée, Rabat, du 19 au 23 avril 2004.

Fernandez, J.E., Paloma, M.J., Diaz-Espejo, A., Giron, I.F., 2003. Influence of Partial Soil Wetting on Water Relation Parameters of the Olive Tree. Agronomie, 23, 545-552.

Fernandez, J.E., 2006. Irrigation Management in Olive, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiologia de Sevilla (IRNAS), 295-305.

Granier, A., 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure des flux de sève brute dans le tronc des arbres. Annals of Forest Science, 42, 193-200.

Gavilán, P., Berengena, J., Allen, R.G., 2007. Measuring versus Estimating Net Radiation and Soil Heat Flux: Impact on Penman-Monteith Reference ET Estimates in Semiarid Regions. Agricultural Water Management, 89, 275-286.

Gocic, M., Trajkovic, S., 2010. Software for Estimating Reference Evapotranspiration Using Limited Weather Data. Computers and Electronics in Agriculture, 71, 158-162.

Gong, L.B, Xu, C.Y., Chen, D.L., Halldin, S., Chen, Y.D. 2006. Sensitivity of the Penman-Monteith Reference Evapotranspiration to Key Climatic Variables in the Changjiang (Yangtze River) Basin. Journal of Hydrology, 329, 620-629.

Gucci, R., Lodolini, E., Rapoport, H.F., 2007. Productivity of Olive Trees with Different Water Status and Crop Load. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 82, 648-656.

Habaieb H., Masmoudi-Charfi C., 2003 : Calcul des besoins en eau des principales cultures exploitées en Tunisie: Estimation de l'évapotranspiration de référence par différentes formules empiriques. Cas des régions de Tunis, Béja et Bizerte, Sécheresse, 14: 1-9.

Hamza, M. 2009. La politique de l'eau en Tunisie. Conférence Régionale sur la gouvernance de l'eau, Echanges d'expériences entre l'OCDE et les pays arabes, CITET-Tunis, 8-9 Juillet 2009.

Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1982. Estimating Potential Evapotranspiration. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 108, 225-230.

Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1, 96-99. http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773

Hargreaves, G.H., Allen, R.G., 2003. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129, 53-63.

Inglese, P., Barone, E., Gullo, G., 1996. The Effect of Complementary Irrigation

on Fruit Growth, Ripening Patter and Soil Characteristics of Olive (Olea europaea L.) Cv. Carolea. Journal of Horticultural Science, 71, 257-263.

Iniesta, F., Testi, L., Orgaz, F., Villalobos, F.J., 2009. The Effects of Regulated and Continuous Deficit Irrigation on the Water Use, Growth and Yield of Olive Trees. European Journal of Agronomy, 25, 258-265.

INM. 2013-2016. National Institute of Meteorology. www.meteo.tn.

Jabloun, M., Sahli A., 2008. Evaluation of FAO-56 Methodology for Estimating Reference Evapotranspiration Using Limited Climatic Data Application to TUNISIA. Agricultural Water Management, 95, 707-715. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.009.

Jensen, M.E., Burman, R.D., Allen, R.G., 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, 332, American Society of Civil Engineers, New York, 360.

Jensen, D.T., Hargreaves, G.H., Temesgen, B., Allen, R.G., 1997. Computation of ET_o under Non ideal Conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 123, 394-400.

Kassas, M., 2005. Aridity, Drought and Desertification. Chapter 7, 95-110. Export Marketing of Gum Arabic from Sudan, World Bank Policy Note March 2007.

Kra, E.Y., 2010. An Empirical Simplification of the Temperature Penman-Monteith Model for the Tropics. Journal of Agricultural Science, 2, 162-171.

Larbi, A., Ayadi, M., Ben Dhiab, A.,Msallem, M., 2012. Comparative Study of Tunisian and Foreign Olive Cultivars Sustainability for High Density Planting System. Olivebioteq, Sfax-Tunisia, 177-181.

Laroussi, C., Habaieb, H., 1993. Gestion des ressources en eau en conditions d'aridité, cas de la Tunisie. Etat de l'agriculture en Méditerranée: Ressources en eau: Développement et gestion dans les pays méditerranéens. Bari: CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes, 92-108.

López-Moreno, J.I., Hess, T.M., White, S.M., 2009. Estimation of Reference Evapotranspiration in a Mountainous Mediterranean Site Using the Penman-Monteith Equation with Limited Meteorological Data. Pirineos, 164, 7-31.

Le Bourdelles, J., 1977. Irrigation par goutte à goutte en oléiculture, principe de la méthode, installation et fonctionnement. Olea, 24, 31-49.

Martí, P., Zarzo, M., 2012. Multivariate Statistical Monitoring of ET_o: A New Approach for Estimation in Nearby Locations Using Geographical Inputs. Agricultural and Forest Meteorology, **152**, 125-134. http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.08.008

Martinez, C.J., Thepadia, M., 2010. Estimating Reference Evapotranspiration with Minimum Data in Florida. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 136, 494-501..

Masmoudi-Charfi, C., Masmoudi, M.M., Ben Mechlia, N., 2004. Irrigation de l'olivier: Cas des jeunes plantations intensives. Revue Ezzaitouna, 10, 37-51.

Masmoudi-Charfi, C., 2006 Irrigation des plantations d'olivier. Document Technique, Institut de l'Olivier, Tunisie.

Masmoudi-Charfi, C., Ayach-Mezghani, M., Gouia, M., Labidi, F., Lamari, S., Ouled Amor, A., Bousnina, M., 2010. Water Relations of Olive Trees Cultivated under

Deficit Irrigation Regimes. Scientia Horticulturae, 125, 573-578.

Masmoudi-Charfi, C., Abid-Karray, J., Gargouri, K., Rhouma, A., Habaieb, H., Daghari, H., 2012. Manuel d'Irrigation de l'Olivier, Techniques et Applications, Institut de l'Olivier, 110 p.

Masmoudi-Charfi, C., Mezghani-Ayachi, M., 2013. Response of Olive Trees to Deficit Irrigation Regimes: Growth, Yield and Water Relations. Agricultural Research Updates, Vol. 6, Nova Sciences Publishers, New York.

Michelakis, N., 2000. Water Requirements of Olive Tree on the Various Vegetative Stages. Proceedings of the International Course on Water Management and Irrigation of Olive Orchards, Cyprus, April 2000, 39-49.

Moriana, A.F., Perez-Lopez, D., Gomez-Rio, A., Salvador, M., Olmedilla, N., Ribas, F., Fregapane, G., 2006. Irrigation Scheduling for Traditional Low-Density Olive Orchards: Water Relations and Influence on Oil Characteristics

Melgar, J.C., Mohamed, Y., Navarro, C., Parra, M.A., Benlloch, M., Fernandez-Escobar, R., 2008. Long-Term Growth and Yield Responses of Olive Trees to Different Irrigation Regimes. Agricultural Water Management, 95, 968-972.

Mjejra M., 2015. Etude de l'évapotranspiration dans le bassin versant de Medjerda (Tunisie) : Apport de la télédétection satellitaire et des Systèmes d'Information Géographique. Géographie. Université Rennes 2, 2015. 311 pages.

Nandagiri, L., Kovoor, G.M., 2005. Sensitivity of the Food and Agriculture Organization Penman-Monteith Evapotranspiration Estimates to Alternative Procedures for Estimation of Parameters. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 131, 238-248.

Nasr, Z., 2002. Mesures et estimations de l'évapotranspiration de référence en Tunisie. Annales de l'INRAT, 75, 241-256.

Orgaz, F., Testi, L., Villalobos, F.J., Fereres, E., 2006. Water Requirements of Olive Orchards. Determination of Crop Coefficients for Irrigation Scheduling. Irrigation Science, 24, 77-84.

Palomo, M.J., Moreno, F., Fernandez, J.E., Diaz-Espejo, A., Giron, I.F., 2002. Determining Water Consumptive in Olive Orchards Using the Water Balance Approach. Agricultural Water Management, 55, 15-35.

Paredes, P., Rodrigues, G.C., 2010. Necessidades de água para a rega de milho em Portugal Continental considerando condic¸ ões de seca. In: Pereira, L.S., Mexia, J.T. and Pires, CA.L., Eds., Gestão do Risco em Secas, Métodos, Tecnologias e Desafios, Edic ões Colibri e CEER, Lisboa, 301-320.

Penman, H.L., 1948. Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil, and Grass. Proceedings of the Royal Society, A193, 116-140.

Pereira, A.R., Green, E., Villa, N., Nilson, A. 2005. Penman-Monteith Reference Evapotranspiration Adapted to Estimate Irrigated Tree Transpiration. Agricultural Water Management, 83, 153-161.

Popova, Z., Kercheva, M., Pereira, L.S., 2006. Validation of the FAO Methodology for Computing ET_o with Missing Climatic Data. Application to South Bulgaria. Irrigation and Drainage, 55, 201-215.

Priestley, C.H.B., Taylor, R.J., 1972. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large Scale Parameters. Monthly Weather Review, 100, 81-92.

Rana, G., Katerji, N., 2000. Measurement and Estimation of Actual Evapotranspiration in the Field under Mediterranean Climate: A Review.

European Journal of Agronomy, 13, 125-153.

Rallo, L., 1998. Fructification y Produccion, in El Cultivo del olivo. Junta de Andalucia y Grupo Mundi-Prensa, 107-136.

Rallo, L., Rapoport, H.F., 2001. Early Growth and Development of the Olive Fruit Mesocarp. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 76, 408-412.

Razieia, T., Pereira, L.S., 2013. Reference Estimation of ET0 with Hargreaves-Samani and FAO-PM Temperature Methods for a Wide Range of Climates in Iran. Agricultural Water Management, 121, 1-18

Ruelle P., Mallhot J.,C., Itier B., 2004. Evaluation des pertes par évaporation lors des irrigations par aspersion en conditions de fort déficit hydrique. Ingénieries N°38-13-20. Juin 2004.

Samaras D.A., Reif A., Theodoropoulos K., 2014. Evaluation of Radiation-Based Reference Evapotranspiration Models Under Different Mediterranean Climates in Central Greece. Water Resour Manage (2014) 28: 207. doi:10.1007/s11269-013-0480-3.

Sammis, T.W., Wang, J., Miller, D.R., 2011. The Transition of the Blaney-Criddle Formula to the Penman-Monteith Equation in the Western US. Journal of Service Climatology, 5, 1-11. www.journalofserviceclimatology.org.

Soleilhavoup I., 2016. Estimation de l'évapotranspiration à l'échelle d'un bassin versant. Série Temporelle, Javier 2016. Projet SIRHYUS /CESBIO. 4 pages.

Tabari, H., 2010. Evaluation of Reference Crop Evapotranspiration Equations in Various Climates. Water Resources Management, 24, 2311-2337.

Temesgen, B., Eching, S., Davidoff, B., Frame, K., 2005. Comparison of Some Reference Evapotranspiration Equations for California. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 131, 73-84.

Testi, L., Villalobos, F.J., Orgaz, F., 2004. Evapotranspiration of a Young Irrigated Olive Orchard in SouthernSpain. Agricultural and Forest Meteorology, 121, 1-18.

Thornthwaite, C.W., 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. Geographical Review, 38, 55-94.

Todorovic, M., Karic, B.,Pereira, L.S., 2013. Reference Evapotranspiration Estimate with Limited Weather Data across a Range of Mediterranean Climates. Journal of Hydrology, 481, 166-176.

Traoré F., 2007. Méthodes d'estimation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle du bassin versant du Kou au Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude de Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Sciences et Gestion de l'Environnement Université de Liège Faculté des Sciences Département des Sciences et Gestion de l'Environnement. 133 pages.

Trajkovic, S. 2007. Hargreaves versus Penman-Monteith under Humid Conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133, 38-42.

Victor, M., San Diego, P. Potential Evapotranspiration by the Thornthwaite Method. State of University. Online_Thornthwaite: Potential Evapotranspiration by Thornthwaite Method. July 2016.

Villagra, M.M., Bacchi, O.O.S., Tuon, R.L., Reichardt, K., 1995. Difficulties of Estimating Evapotranspiration from the Water Balance Equation. Agricultural and Forest Meteorology, 72, 317-325. http://dx.doi.org /10.1016/0168-1923(94)02168-J

Villalobos, F.J., Orgaz, F., Testi, L., Fereres, E., 2000. Measurement and Modeling of evapotranspiration of Olive (Olea europaea L.) Orchards. European

Journal of Agronomy, 13, 155-163.http://dx.doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00071-X.

Remerciements: Les auteurs remercient tous ceux qui ont contribué à la réalisation et à la parution de ce document, en particulier Mmes Andolsi Chourouk, Siala Safia et Boujnah Dalenda (IO) et également Mrs Slimani (INAT), Ben Rouina et Ksantini M., (IO).